الإزهـــار
Flowering

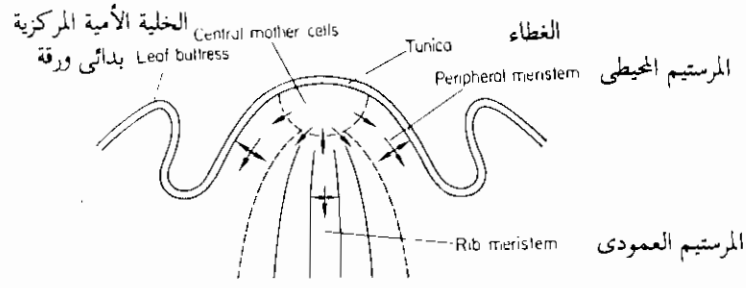
تعريف الزهرة:

الزهرة عبارة عن ساق متحورة لحمل الأوراق الزهرية فمن المعروف أن الساق العادية تقسم إلى عقد وسلاميات ويخرج من العقد الأوراق أما فى الزهرة فإن العقد متقاربة جدا والسلاميات قصيرة جدا والأوراق متحوره إلى أوراق زهرية وهى السبلات والبتلات والأسدية والكرابل أى أن الزهرة عبارة عن فرع خضرى مضغوط بدرجة كبيرة وتحورت أوراقه إلى أوراق زهرية. بعض هذه الأوراق ملونة جذابة والبعض الآخر تحور ليكون حبوب اللقاح أو يكون البويضات.

كيفية تكوين الزهرة:

يتحول المرستيم القمى للفرع أى للساق من مرستيم قمى خضرى إلى مرستيم يكون الزهرة أو الأزهار ومن المعروف أن الجزء القمى فى الساق يتكون من جزئين هما corpus و tunica.

والجزء الأول tunica أى الغطاء يتكون من صف إلى صفين من الخلايا ويكون إنقسام هذه الخلايا فى مستوى واحد فقط حيث يكون عمودى على السطح anticlinal والجزء الداخلى وهو عبارة عن corpus أى البدن، يتكون من خلايا تنقسم فى إتجاهات عديدة لتعطى الزيادة فى الحجم وتسمى انقسامات periclinal ويمكن تمييز البدن إلى ثلاثة أجزاء مرستيمية وهى (شكل ٢١٦):ـ



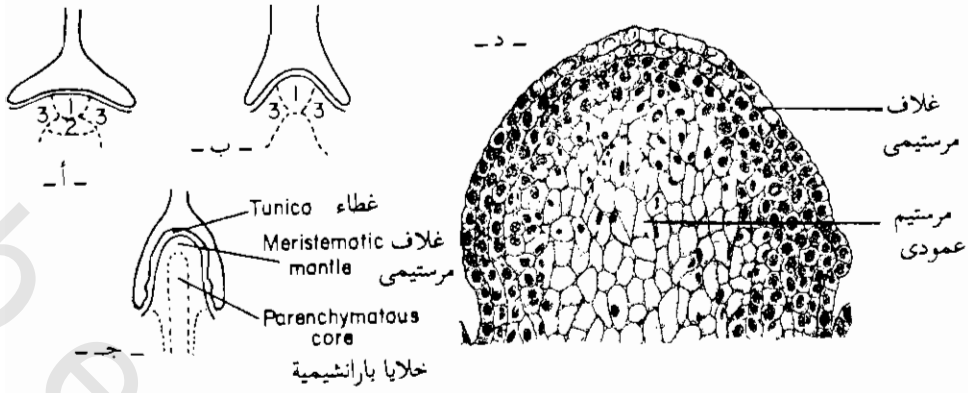
(شكل ٢١٦) : قطاع طولى فى قمة نامية فى ساق.

١ ـ جزء كروى إلى إسطوانى وسطى يسمى الخلايا الأمية المركزية central mother cells

٢ ـ ويوجد أسفله جزء عمودى أسطوانى يسمى المرستيم العمودى rib meristem .

٣ ـ وجزء يحيط بالمرستيم العمودى أحاطه تامة يسمى المرستيم المحيطى peripheral meristem .

ولكى يتحول المرستيم القمى من خضرى إلى زهرى فإن الجزء السفلى من الخلايا الأمية المركزية مع جزء من المرستيم العمودى ينقسم بسرعة زائدة ثم ينتشر هذا الإنقسام ليشمل الخلايا الأمية المركزية والمرستيم المحيطى وأثناء نشاط هذا الجزء يتحول الجزء الباقى من المرستيم العمودى إلى نخاع مركزى central pith يتكون من خلايا بها فجوات عصارية. نتيجة لذلك يتكون جزء من هذه الخلايا السريعة الانقسام يسمى الغلاف mantle ويتكون من خلايا مرستيمية صغيرة قابلة للصبغ بشدة . أى يتكون الجزء القمى من نسيج نخاع بارنشيمى مركزى أسطوانى تقريبا ويغطى من أعلى ويحيط به على جوانبه الغلاف ولذلك يزداد فى هذه الأثناء الجزء القمى فى الطول (شكل ٢١٧) . يتكون الغلاف mantle من الغطاء tunica والطبقات الخارجية من البدن corpus. يتكون من الغلاف زوائد هى بدائيات القنابه و السبلات والبتلات والأسدية والكرابل (شكل ٢١٨) . تتكون هذه الأجزاء تباعا أولا بدائى



(شكل ٢١٧) : خطوات تحول المرستيم القمى إلى مرستيم زهرى.

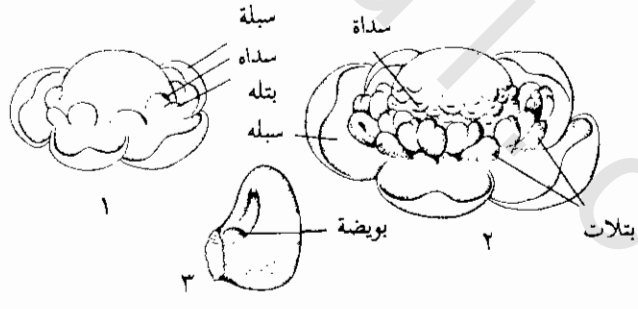
أ، ب، جـ ـ خطوات تحول المرستيم القمى إلى مرستيم زهرى

١ـ الخلايا الأمية المركزية

٢ـ المرستيم العمودى

٣ـ المرستيم المحيطى

د ـ قطاع طولى فى قمة نامية



(شكل ٢١٨) : خطـوات تكوين البرعم الزهـرى فـى نبات الشقيق (١، ٢) *Ranunculus trilobus*.

(٣) كربلة أثناء التكوين.

السبلات ثم يلى ذلك بدائى البتلات ثم يتكون بعد ذلك بدائى الأسدية ثم يتكون بعد ذلك الكرابل. ومن الأنسجة المرستيمية والبدائيات يحدث الإنقسام السريع لهذه الأجزاء وتتكون القنابة إن وجدت وتخت الزهرة وعنق الزهرة إن وجد والكأس والتويج والطلع والمتاع. ومن المعروف أن الزهرة البدائية فى أقل رتب النباتات الزهرية تطورا هى الرتبة الشقيقة ranales حيث تتميز هذه الرتبة بأن التخت مستطيل إلى حد كبير نسبياً كالفرع الخضرى ويحمل عليه حلزونيا الأوراق الزهرية وعادة يكون عددها كبير وذلك بالنسبة لوحدات الطلع والمتاع وهى الأسدية والكرابل. تكون الأسدية والكرابل سائبة فى جميع الحالات. ويعتبر هذا هو التركيب الأقل تطوراً للنباتات الزهرية. ويلى ذلك التطور فى إتجاهات عديدة لتكوين الأزهار الأكثر رقيا فى النباتات الزهرية.

المراحل المختلفة فى حياة النبات:

يمكن تقسيم حياة النبات إلى ٤ أو ٥ مراحل وهى على التوالى مرحلة الإنبات ومرحلة النمو الخضرى ومرحلة الإزهار ومرحلة الإثمار وقد توجد مرحلة الشيخوخة فى بعض النباتات . لتقدير المراحل المختلفة فى عمر النبات ودرجات النمو فيها يعتبر أحسن طريقة لتقدير النمو فى النبات هى طريقة الوزن الجاف فى المراحل المختلفة للنبات ورسم ذلك فى رسم بيانى ينتج عنه شكل حرف S ولذلك يسمى هذا المنحنى S shaped curve or sigmoid cuvre حيث يلاحظ أن الوزن الجاف يقل أثناء مرحلة الإنبات ثم يزداد تدريجياً أثناء مرحلة النمو الخضرى ثم تقل أو تتوقف الزيادة أثناء مرحلة الإزهار والإثمار ثم يقل الوزن الجاف أثناء مرحلة الشيخوخة ومن ذلك يتضح أن مرحلة الإزهار يسبقها عادة مرحلة النمو الخضرى ويليها مرحلة الإثمار ثم الشيخوخة إن وجدت.

الحالات المختلفة للإزهار:

من المعروف أنه لابد أن يسبق الإزهار طور أو مرحلة النمو الخضرى ولكن فى القليل من النباتات يمكن أن يزهر النبات فى عدم وجود الأوراق ومثال ذلك بعض

النباتات متساقطة الأوراق. فقد وجد فى بعض أنواع الصفصاف وأشجار الجاكارندة *Jacaranda* وبعض أشجار الحلويات مثل الخوخ والبرقوق والمشمش تكون البراعم الزهرية والأزهار وبعد ذلك بفترة تتفتح البراعم الخضرية وتتكون الأوراق وتعليل ذلك فى بعض النباتات مثل الصفصاف ومثلها النباتات الأخرى أن البراعم الزهرية تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة حتى تتفتح فى حين أن البراعم الخضرية تحتاج إلى درجة حرارة أعلى نسبياً لكى تتفتح وفى نهاية فصل الشتاء تتفتح البراعم الزهرية أولاً حيث الشتاء القارص البرودة ثم تتفتح البراعم الخضرية حيث الجو أكثر دفئاً نسبياً ، وتوجد حالة نادرة فى النباتات حيث يمكن أن يزهر النبات مباشرة بعد طور الإنبات ومثال ذلك نبات *Chenopdium rubrum* .

يمكن تحديد مراحل النمو المختلفة فى كثير من النباتات ولكن يصعب فصلها تماماً عن النمو الخضرى فى كثير من النباتات ومثال ذلك حالة نبات القمح والشعير والأرز حيث يكمل النبات مرحلة نموه الخضرى تماماً ثم يتحول البرعم الطرفى إلى برعم زهرى ليكون السنابل وبالتالى يمكن تحديد مرحلة النمو الخضرى ويليها بتحديد واضح مرحلة الإزهار وتكوين السنابل وفى هذه الحالة يتحول البرعم الطرفى إلى برعم زهرى لتكوين الأزهار والعكس صحيح فى نباتات أخرى كثيرة مثل الطماطم والبطاطس حيث أثناء نمو البرعم الطرفى وتكوينه لمجموع خضرى يخرج من آباط الأوراق الأزهار وهكذا يستمر البرعم الطرفى فى نموه مكوناً مجموع خضرى وأزهار وهكذا لايمكن فصل مرحلة النمو الخضرى عن مرحلة الإزهار تماماً.

تختلف عدد مرات الإزهار فى حياة النبات بإختلاف نوع النبات ففى النباتات الحولية أو الفصلية تزهر مرة واحدة فى دورة حياتها ثم تموت . والنباتات ذات الحولين تزهر فى السنة الثانية وفى النباتات المعمرة يزهر النبات مرة واحدة عادة فى السنة وفى أشهر معينة من السنة دون الفصول الأخرى ومثال ذلك التفاح حيث يزهر فى أواخر الشتاء وأول الربيع وأيضاً الخوخ والمشمش ولكن فى بعض النباتات يمكن

أن تزهر بشدة فى وقت معين وتزهر بقلة فى وقت آخر ومثال لذلك الكمثرى ونبات الجاكارندا حيث تزهر بشدة فى الربيع ولكن فى أواخر الصيف أو أوائل الخريف يمكن أن تزهر ويسمى بالترجيع. وفى بعض النباتات المعمرة الأخرى لاتزهر النباتات كل سنة بل تزهر كل سنتين مرة واحدة حيث تزهر فى السنة الأولى ولاتزهر فى السنة الثانية وهكذا على التوالى مثال ذلك أشجار المانجو. وفى بعض النباتات المعمرة يمكن أن يزهر النبات مرة واحدة فقط طول فترة حياته ومثال ذلك بعض أنواع نبات الـ *Agave*.

ويعقب الأزهار مباشرة طور الإثمار وفى هذه الحالة يتجه كل الغذاء المجهز فى النبات إلى الثمرة الصغيرة حيث تنمو بسرعة ولذلك يقل أو يتوقف تماماً النمو الخضرى حيث يتحول كل الغذاء المجهز فى النبات لتكوين الثمار ولكى تصل إلى الحجم الطبيعى المناسب. ولذلك فإنه فى كثير من النباتات يجب إزالة الثمار بإستمرار دورياً لإعطاء الفرصة للنمو الخضرى لكى يستمر إلى أطول فترة ممكنة حيث يعمل ذلك على زيادة محصول الأزهار والإثمار تبعاً لنوع النبات ومثال ذلك فى نباتات الخضر أن يتم يجب جمع ثمار القرع بعد ٢ـ٣ أيام على الأكثر من تفتح الزهرة وأن ترك ثمرة واحدة دون قطع يمكن أن يوقف أو يقلل النمو الخضرى بدرجة كبيرة حيث تكبر الثمرة إلى درجة كبيرة جداً ولا يكون النبات أى أزهار أو أى ثمار أخرى وبذلك يقل محصول النبات ويمكن أيضاً تطبيق هذه القاعدة فى بسلة الزهور وحيث أنه من المعروف أنه لابد من قطع الأزهار مباشرة مجرد تفتحها للحصول على أكبر قدر ممكن من الأزهار حيث أنه من المعروف أن ترك الأزهار والتأخر فى قطعها يسبب تكوين الثمار وبالتالى يقل النمو الخضرى ويقل محصول النبات من الأزهار حيث أن الثمار تستهلك جزء كبير من الغذاء وهذه القاعدة معروفة لدى مربى الأزهار.

العوامل المؤثرة على الإزهار:

تنمو النباتات الحولية فى الظروف الطبيعية نمواً خضرياً إلى حين، ثم تظهر عليها

الأزهار بعد ذلك. فى النباتات المعمرة تظهر الأزهار فى أوقات معينة من السنة. وقد بذلت محاولات مختلفة لتفسير ظاهرة إنتظام ظهور الأزهار على النباتات. فأشار Sachs عام ١٨٦٥ إلى إحتمال ظهور مادة ما فى أنسجة النبات فى وقت معين، وأن هذه المادة تنظم تكوين الأزهار. وكأنما كان هذا العالم يتنبأ بوجود مايشبه الهورمونات قبل إكتشافها. ولم تحظ هذه النظرية بإهتمام كبير لعدم وجود أسانيد عملية لها.

ثم ظهرت بعد ذلك نظرية أخرى للعالمين Kraus & Kraybill عام ١٩١٨ تشير إلى

أن تكوين الأزهار لايتم إلا إذا توافرت فى النبات نسبة معينة من المواد النيتروجينية / المواد الكربوإيدراتية

وقد لقيت هذه النظرية إهتماماً كبيراً وأجريت أبحاث عديدة حول موضوعها ، ولكن ثبت أن نباتات كثيرة تزهر عند نسب مختلفة من النيتروجين/ الكربون. فقل الإهتمام بهذه النظرية.

تمكن العالمان Garner & Allard عام ١٩٢٠ أثناء تجاربهما على صنف معين من نبات التبغ وهو الصنف Maryland Mammoth من إثبات أن هذا النبات لايزهر إطلاقاً فى فترة الصيف ويمكن أن يزهر فى الشتاء داخل الصوب. وقد إتضح من تجاربها أن العامل الجوهرى الفعال هو مدة الإضاءة وأن درجة الحرارة غير هامة فى ذلك حيث لم يكن لها تأثير فى هذه الحالة بالرغم من إختلاف درجة الحرارة فى الصيف والشتاء ولكن إتضح أن فترة الإضاءة هى العامل الفعال والجوهرى فى إزهار هذا النبات واتضح أن هذا النبات دون أصناف نبات التبغ الأخرى يتميز بأنه من نباتات النهار القصير حيث يحتاج إلى فترة إضاءة منخفضة نسبياً لكى يتم الأزهار وفى فترة الإضاءة الطويلة لايمكن للنبات أن يزهر وذلك كما حدث فى الصيف وقد إتضح أيضاً أن الإضاءة الصناعية تماثل الإضاءة الطبيعية فى تأثيرها على الإزهار وفترة التواقت الضوئى.

ثم تمكن العالم Gassner عام ١٩١٨ أثناء تجاربه على القمح الربيعى والقمح الشتوى من إثبات أن درجة الحرارة لها تأثير على الإزهار.

تعتبر صفة الإزهار صفة وراثية وشأنها شأن أى صفة أخرى حيث يتحكم فيها العوامل الوراثية والعوامل البيئية. فتتحكم الوراثة فى عملية الإزهار كما أتضح أن فترة التواقت الضوئى ودرجة الحرارة من العوامل البيئية الهامة التى تؤثر على الإزهار وذلك بالطبع بالإضافة إلى العوامل الوراثية.

أنواع التواقت الضوئى المختلفة فى النباتات Photoperiodism

يمكن تقسيم النباتات تبعاً لفترة التواقت الضوئى إلى ٥ مجاميع:

(١) نباتات قصيرة النهار Short day plants

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار قصير لكى تزهر وقد اتضح بعد ذلك أن العامل المؤثر فى الإزهار هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الضوء حيث إتضح أن نباتات النهار القصير هى أساساً نباتات ليل أى ظلام طويل وأن العامل المحدد هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الإضاءة ومثال ذلك نبات *Xanthium pennsylvanicum*، فقد إتضح أن مدة الضوء لاتزيد عن ٣/٤ ١٥ ساعة لكى يزهر ومدة الظلام يجب أن لاتقل عن ٨,١٥ ساعة لكى يزهر وإذا زادت فترة الإضاءة أو قلت فترة الظلام عن هذا الحد فإن النبات لايزهر. والعكس صحيح فى حالة قلة فترة الإضاءة أو زيادة فترة الظلام عن هذا الحد فإن النبات يزهر أى فى حالة ظلام لمدة تصل عشرون ساعة فى اليوم الواحد فإن النبات يزهر. ومن ذلك يتضح أن العامل المحدد فى نباتات النهار القصير هو طول فترة الظلام ولذلك يجب تسمية هذه النباتات بالنباتات ذات الليل الطويل. ولذلك يوجد مايسمى بفترة الظلام الحرجة critical dark period وهى عبارة عن أقل فترة ظلام يحتاج إليها النبات لكى يزهر وأن أقل من هذه الفترة لايمكن للنبات أن يزهر ومن أمثلة النباتات قصيرة النهار وبالإضافة إلى نبات الـ *Xanthium* صنف نبات التبغ المعروف بإسم Maryland Mammoth ونبات البن.

(٢) نباتات النهار الطويل Long day plants

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى فترة إضاءة طويلة لكى تزهر. وفى حالة الإضاءة القصيرة لايمكن للنبات أن يزهر. ولكن إتضح أيضاً أن العامل المحدد والجوهرى فى عملية الإزهار هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الإضاءة وأن هذه النباتات تحتاج إلى فترة ظلام قصيرة عبارة عن بضع ساعات ولذلك يجب تسمية هذه النباتات بالنباتات ذات الليل القصير. ومن أمثلة لذلك نبات السكران *Hyoscyamus niger* والسبانخ والفجل والنعناع.

(٣) نباتات محايدة أى متعادلة الفترة الضوئية Neutral day plants

وهى عبارة عن نباتات لاتتأثر بطول فترة الظلام أى فترة الإضاءة ومثال ذلك نبات الطماطم ويمكن تلخيص ما سبق فى الجدول التالى.

نباتات محايدة	قصيرة النهار	طويلة النهار	المعاملة فى اليوم الواحد	
أزهار	أزهار	لا يحدث أزهار	ظلام ١١ ساعة	١٣ ساعة ضوء
إزهار	لا يحدث إزهار	إزهار	٤ ساعة ظلام	٢٠ ساعة ضوء

(٤) نباتات طويلة قصيرة النهار long Short day plants (LSDP)

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار طويل لبضع أيام ثم يلى ذلك نهار قصير لبضعة أيام أخرى وذلك لكى يتم الإزهار ومثال ذلك نبات السسترم *Cestrum nocturnum* ونبات البرايوفيللم *Bryophyllum crenatum*.

(٥) نباتات قصيرة طويلة النهار Short long day plants (SLDP)

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار قصير لبضعة أيام ثم يلى ذلك نهار طويل لبضعة أيام أخرى ومثال ذلك نبات كامبنيولا *Campanula medium*.

تقسيم النباتات تبعاً لإختيارية الفترة الضوئية

يمكن تقسيم النباتات إلى مجموعتين رئيسيتين تبعاً لذلك وهما:

(١) نباتات إجبارية الفترة الضوئية

Plants of absolute or qualitative photoperiodic response

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى فترة ضوئية معينة لكى تزهر وفى عدم وجود هذه الفـــترة فإنها لاتزهر إطلاقاً ومنــها نباتات قصيرة النهار qualitative short day requirement. مثل *Xanthium pennsylvanicum* والتبغ صنف Maryland Mammoth وبنت القنصل والشليك وعرف الديك *Amaranthus caudatus* والبن وفول الصويا.

ومنها نباتات طويلة النهار qualitative long day requirement مثل الزمير والسكران والنعناع والفجل والسبانخ والقرنفل وبعض أنواع البرسيم.

(٢) نباتات إختيارية الفترة الضونية

Plants of quantitative photoperiodic response

وهى عبارة عن نباتات تزهر بدرجة كبيرة فى أثناء فترة الأضاءة المناسبة والمحددة لها ولكن يمكنها أن تزهر بدرجة أقل فى الفترة الضوئية الغير مناسبة لها ومنها نباتات قصيرة النهار quantitative short day requirement مثل الأرز والماراجونا (الحشيش) والسلفيا *Salvia splendens* وقصب السكر والقطن *Gossypium hirsutum*. ومنها نباتات طويلة النهار مثل حنك السبع والبنجر والشعير الربيعى والخس والبيتونيا *Petunia hybrida* والبسلة والراى الربيعى والقمح الربيعى والأونوثرا *Oenothera*.

مدى حساسية النبات لفترة التواقت الضوئى

تختلف حساسية النبات لفترة التواقت الضوئى فى صور كثيرة وحالات كثيرة ومنها يأتى:

obeikandl.com

(١) طول فترة التواقت الضوئى:

من المعروف أن النباتات تتأثر بطول فترة التواقت الضوئى اللازم للإزهار فمن المعروف أن بعض أصناف من نباتات الأرز تتأثر بطول فترة الإضاءة حوالى ١٥ ـ ٢٠ دقيقة وبذلك تؤثر هذه الفترة فى إزهاراً وعدم إزهار النبات . ومن المعروف أيضاً أنه فى حالة النبات *Xanthium pennsylvanicum* أن فترة الظلام الحرجة لهذا النبات هى ٨,١٥ ساعة وأن أقل من هذه الفترة ببضع دقائق لايزهر النبات.

ومن الأمثلة السابقة يتضح أن النبات له كفاءة عالية فى قياس زمن الإضاءة أى أن للنباتات ساعة بيولوجية يمكن بها أن تقيس الزمن وخاصة زمن الإضاءة وبالتالى يزهر أو لايزهر تبعاً لنوع النبات وطول فترة الإضاءة.

(٢) عدد مرات التعرض لفترة الإضاءة اللازمة:

من الحالات النادرة أنه يكفى للنبات طول الموسم الواحد أن يتعرض لمرة واحدة فقط لفترة إضاءة مناسبة ومثال ذلك نبات *Xanthium pennsylvanicum* فإنه يكفيه فى الموسم الواحد أن يتعرض لمرة واحدة فقط لنهار قصير مناسب أى فترة ظلام حرجة مناسبة لكى يزهر وهذه أحد الأمثلة النادرة فى حالة النباتات قصيرة النهار . والعكس صحيح أيضاً فى حالة النباتات طويلة النهار وحيث تحتاج إلى فترة ظلام قصيرة. فقد وجدأن النبات *Lolium italicum* يحتاج فى الموسم الواحد إلى فترة نهار طويلة النهار مره واحدة فقط لكى يزهر ولكن هاتين الحالتين السابقتين تعتبر من الأمثلة النادرة فى هذا الصدد وأنه من المعروف أن الغالبية العظمى من النباتات قصيرة النهار وطويلة النهار تحتاج إلى مرات عديدة من التعرض إلى فترة الظلام أى الضوء المناسب ولايكفيها إطلاقاً التعرض لمدة واحدة فقط فى الموسم كما حالة النباتين السابقين ومثال ذلك أن نبات السلفيا *Salvia occidentalis* وهو نبات قصير النهار يحتاج على الأقل إلى ١٧ دوره ضوء مناسبة لكى يزهر وفى حالة نبات البلانتاجو

Plantago lanceolata وهو نبات طويل النهار يحتاج على الأقل إلى ٢٥ دوره ضوء مناسبة لكى يزهر.

ومما هو جدير بالذكر أنه فى حالة النباتين السابقين *Xanthium* و *Lolium* فإنه بزيادة عدد مرات التعرض لفترة الإضاءة المناسبة أى فترة الظلام المناسبة فإن كمية الإزهار تزداد بدرجة واضحة بزيادة عدد مرات التعرض للضوء أى الظلام المناسب. ويتضح من ذلك أيضاً أن النبات يمكن أن يشعر بعدد مرات الأضاءة وذلك علاوة على طول مدة الأضاءة.

ويلاحظ حاله الإستحثاث الجزئى فى نباتات النهار القصير وهى على سبيل المثال يحتاج نبات البلسم *Impatiens balsamina* ذو النهار القصير إلى ثلاث دورات ضوء مناسبه لتكوين البراعم الزهرية، ومع ذلك لكى تتكون الأزهار من تلك البراعم الزهرية فهو يحتاج إلى أكثر من ثمانى دورات ضوء مناسبه.

وربما نحصل أيضاً على إستحثاث جزئى فى نباتات النهار الطويل، فنبات البلانتاجو يحتاج إلى خمسة وعشرين دورة ضوء مناسبه لتكوين ١٠٠ ٪ نورات، ولو أعطى النبات عشرة دورات ضوء مناسبه فقط ثم وضع تحت تأثير دورات غير مناسبه (غير أستحثائية) فإنه لا يزهر، ومع ذلك لو أعقب هذه الدورات غير الإستحثائية دورات إستحثائية (مناسبه) فإنه يحتاج خمس عشرة دورة إستحثائية فقط لكى ينتج ١٠٠ ٪ من النورات. تكوين المنشئات الزهرية الأولية على النبات المائى المسمى بعدس الماء *Lemna gibba* يحتاج على الأقل إلى يوم واحد طويل، إلا أنه يحتاج على الأقل إلى ست أيام طويلة لإنتاج أزهار ناضجة ـ يظهر أن الأيام الطويلة لازمة للمراحل المبكرة لنمو الأزهار فى هذا النبات.

والخلاصة الوحيدة من تلك المناقشة تدل على أن بعض العوامل تدخل فى إستجابه النبات للتزهير وتتراكم خلال الدورة الضوئية المناسبه ففى بعض النباتات، على سبيل المثال الشبيط، كمية كافية تتراكم بعد دورة واحدة فقط وتؤدى إلى تشجيع التزهير. أما النباتات الأخرى فهى تحتاج إلى أكثر من دورة ضوء مناسبه لكى

يتراكم بها كمية كافية من عامل التزهير لكى تزهر. فى نباتات النهار الطويل لا يظهر تأثير تعديلى للدورة غير المناسبه من الضوء على التعرض السابق للدوره المناسبه من الضوء التى سبق للنبات التعرض لها أى أنها لا تلغى تأثيرها والعكس صحيحٌ فى نباتات النهار القصير حيث أن الدوره الغير مناسبه من الضوء تلغى أثر الدورات المناسبه من الضوء التى سبق للنبات التعرض لها.

(٣) عمر النبات:

من المعروف أنه يمكن تقسيم النباتات إلى نباتات قصيرة النهار ونباتات طويلة النهار ولكن وجد فى بعض الحالات أن هذه الحالة نسبية وتتأثر بعمر النبات ومثال ذلك فى حالة نبات فول الصويا حيث يعتبر هذا النبات مختلف فى إحتياجاته الضوئية أثناء مراحل النمو المختلفة حيث أنه وهو صغير السن يكون من نباتات النهار القصير ولكن وجد فى الأعمار الكبيرة أنه يمكن أن يستجيب لفترة الإضاءة الطويلة حيث تؤثر فى أزهار النبات أى أنه من المعروف أن نبات فول الصويا من نباتات النهار القصير ولكنه يمكن فى أواخر مراحل الأزهار أن يستجيب لفترة الأضاءة الطويلة كمنشط ومنبه للإزهار.

(٤) الجزء الحساس من النبات والذى يستجيب لطول الفترةالضوئية:

من المعروف أن أهم جزء فى النبات يستجيب لطول الفترة الضوئية ويشعر بها هو الأوراق دون الأجزاء الأخرى من المجموع الخضرى . وقد وجد فى نبات فول الصويا وبعد نزع جميع أوراق النبات عدا ورقة واحدة فإن النبات يستجيب لطول الفترة الضوئية يعنى ذلك أن ورقة واحدة كافية للأستجابة وقياس طول الفترة الضوئية . وقد وجد أكثر من ذلك فى حالة نبات *Xanthium pennsylvanicum* حيث أن ينزع جميع أوراق النبات عدا جزء صغير من الورقة مساحته ٢ سم٢ فإن ذلك يكفى لتنبيه الأزهار والحساسية لطول الفترة الضوئية. ولكن كما سبق القول فإنه يوجد لكل قاعدة شواذ فقد وجد أن ساق نبات *Plumbago indicum* المنزوعة الأوراق تماما

يمكنها أن تشعر وتستجيب لطول الفترة الضوئية وتزهر وهذه تعتبر من الحالات النادرة فى هذا الصدد أى أن الساق يمكن أن يشعر فى بعض الحالات بطول الفترة الضوئية .

(٥) تأثير كسر فترة الأضاءة بفتره ظلام أو العكس:

لاحظ الباحثون بعد الأبحاث الأولى لجارنر والارد أن النبات لا يزهر بالرغم من تعرضه للدورة الضوئية الصحيحة بكسر فترة إظلامه المستمرة بواسطة فترة ضوئية قصيرة أو ومضة ضوئية. بينما كسر فترة الإضاءة بفترة إظلام قصيرة فلها تأثير ضئيل جداً. مثل هذه النتائج تبين أن التزهير يكون أكثر إستجابه لفترة الإظلام المتصلة عن فترة الإضاءة المتصلة «دون أى كسر فى إستمرارية الطول الكلى لفترة الإظلام» .

تأثير فترة التواقت الضوئى على النمو الخضرى للنبات

تؤثر فترة التواقت الضوئى على الأجزاء الخضرية من النبات فى كثير من الحالات بالإضافة إلى تأثيرها على الأزهار كما سبق ذكره. وفيما يلى بعض الأمثلة على سبيل المثال وليست على سبيل الحصر:

(١) حدوث ظاهرة أو حالة التورد Rosette habit

عند تعريض نبات السكران *Hyoscyamus niger* إلى نهار قصير فإن ذلك يؤثر على المجموع الخضرى حيث تصبح السلاميات أقصر طولا وتتقارب العقد بدرجة كبيرة ويحدث قصر أى تقزم النبات. تخرج الأوراق من مناطق متقاربة وتأخذ فى نموها شكل الزهرة وهذه تعرف بحالة التورد rosette habit. تحدث هذه الظاهره فى بعض نباتات نهار طويل أخرى.

(٢) تكوين الأجزاء الدرنية تحت سطح التربة:

وجد أن نبات الطرطوفة يحتاج إلى نهار قصير لكى تتكون الجذور الدرنية تحت سطح التربة. كما وجد أيضا أن بعض أنواع البطاطس البرية تحتاج إلى نهار قصير لكى تتكون درنات البطاطس تحت سطح التربة. ومما هو جدير بالذكر أيضا أن هذا

التأثير يكون فقط على نوع البطاطس البرية ولا ينطبق على إحتياجات البطاطس المنزرعة. ولذلك يتضح أن فترة الإضاءة تؤثر على تكوين الجذور أو السيقان الدرنية فى بعض النباتات.

(٣) تكوين السيقان الجارية Runners

وجد أن الساق الجارية لنبات الشليك تحتاج إلى فترة نهار طويل لكى يتم ويكتمل تكوينها.

(٤) تكوين الأبصال

يحتاج نبات البصل إلى فترة نهار طويلة لتكوين البصلة.

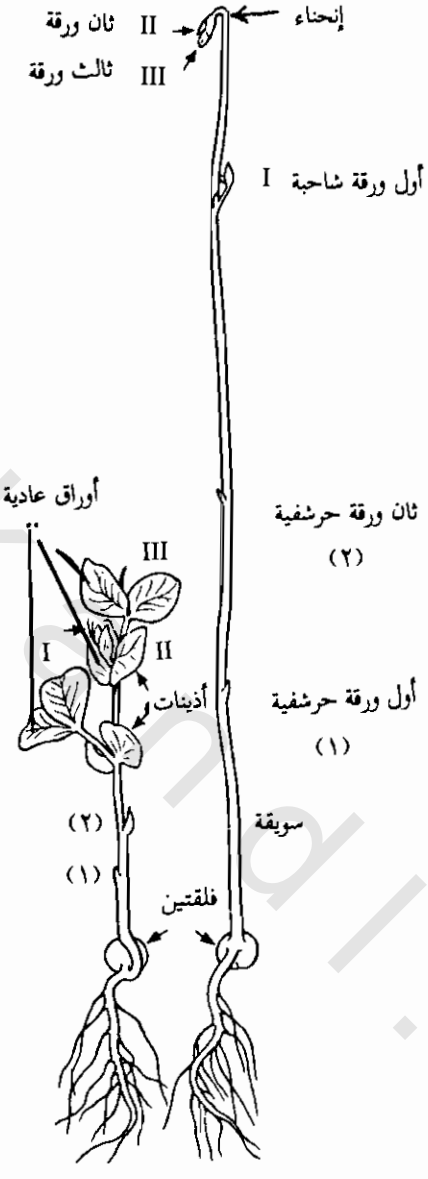
الفيتوكروم Phytochrome

كيفية الأستدلال على وجود الفيتوكروم

أجريت تجارب عديدة على مر السنين بعضها يهدف إلى دراسة بعض حالات فسيولوجيا النبات والبعض الآخر يهدف إلى تفسير ميكانيكية حدوث إستجابة النبات لفترة التواقت الضوائى photoperiodism وفيما يلى شرح لأهم التجارب التى أجريت فى هذا الصدد.

١ ـ وجد Bonnet عام ١٧٥٤ أن نمو النبات فى الظلام يسبب حدوث حالة الشحوب الضوئى للنبات etiolation ويمكن أن يحدث التأثير ولكن بصورة مخففة أى أقل فى حالة نمو النبات فى إضاءة ضعيفة وكلما زادت شدة الإضاءة كلما أقترب النبات من الحالة العادية وإختفاء ظاهرة الشحوب الضوئى. حيث تتميز النباتات الشاحبة ضوئيا بزيادة فى طول الساق وتلون الأوراق باللون الأخضر الباهت أى المصفر تبعا لشدة الحالة. وتصبح الأوراق صغيرة الحجم مطوية على بعضها كما تكون قمة الساق منحنية ومتدلية إلى أسفل. وقد تمكن أثناء إجراء تجاربه أيضا من إثبات أنه عند تعرض هذه النباتات إلى الضوء فإنها تتحسن وتأخذ مظهر النبات العام وإذا نقلت أو تم وضعها مرة أخرى فى الظلام فيحدث لها شحوب ضوئى وهكذا يتحكم الضوء والظلام فى حدوث حالة الشحوب الضوئى (شكل ٢١٩).

obeikandl.com

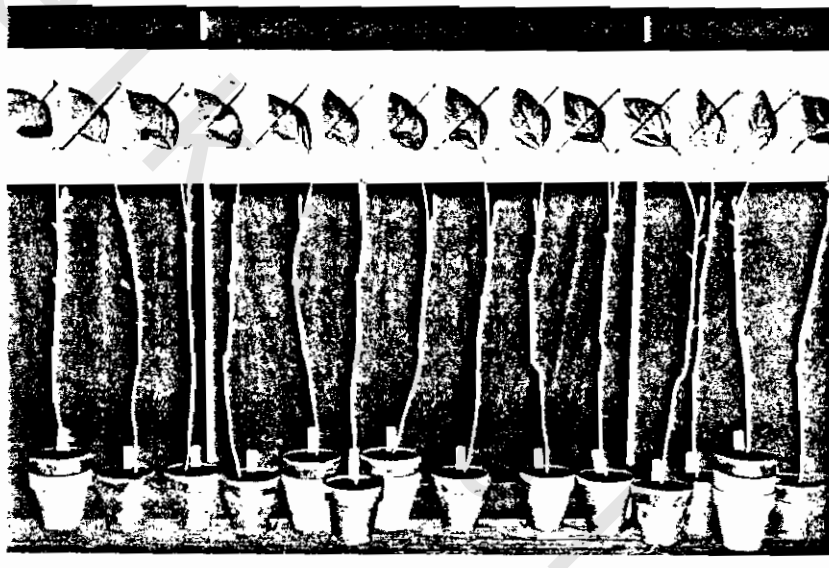


(شكل ٢١٩) : تأثير الشحوب الضوئى على بادره البسله

أ ـ بادرة شاحبة فى الظلام

ب ـ بادرة عادية (نصف الحجم الطبيعى)

٢ ـ قام Borthwick & Hendricks عام ١٩٥٤ بإستخدام الـ spectroscope وذلك باستعمال منشور ضخم من الكوارتز وبتعريض حزمة ضوئية monochromatic light فإنه تمكن من الحصول على ألوان من الطيف الضوئى ممتدة على مسافة ٢ متر وقد وضع فى هذه المسافة أصص بها نباتات فول صويا بنفس العمر وقام بنزع جميع أوراقها عداورقة واحد (شكل ٢٢٠) وقد أتضح بعد ذلك أن جميع النباتات لم تزهر عدا النباتات الموجودة فى منطقة اللون أى الضوء الأحمرred light فقد تم إزهارها.



(شكل ٢٢٠) : نباتات فول صويا منزوعة أوراقها عدا ورقة واحدة لتعريضها للطيف الضوئي.

ومن هنا فقد استنتجا أن الضوء الأحمر هو الضوء الوحيد من الوان الطيف الضوئى التى لها تأثير على الأزهار وذلك دون الألوان الأخرى مثل الأزرق والبنفسجى والأصفر والأخضر. وجدا أن الأزهار شديد فى مدى طول الموجة ٦٢٠ إلى ٦٨٠ نانومتر وقليل أو نادر عند طول الموجة ٤٠٠ أو ٥٠٠ نانومتر.

٣ ـ من المعروف أن بعض البذور تحتاج إلى ضوء لكى تنبت ومن المعروف أن

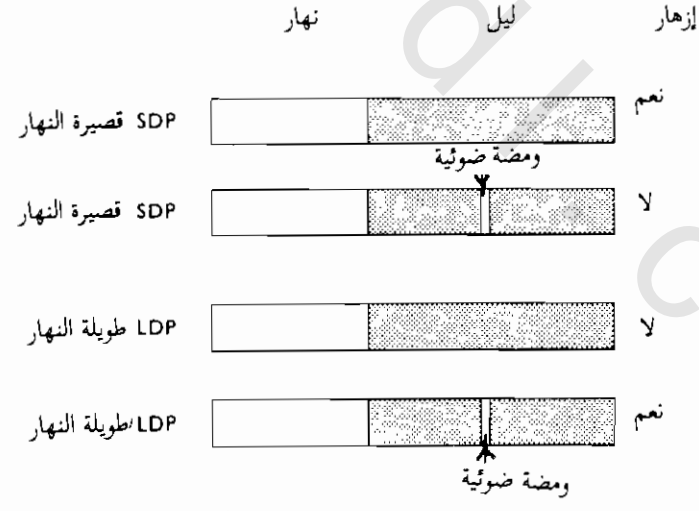
الضوء لا يؤثر على إنبات البذور ولكنه يؤثر فقط على إنبات بذور بعض النباتات ومثال لذلك فإن بذور أصناف نبات الخس لا تحتاج إلى الضوء لإزهارها عدا صنف Grand Rapids فتحتاج البذور إلى الضوء لكى تنبت. وأن هذه القاعدة أيضا موجودة فى بذور عدد كبير نسبيا من الحشائش حيث تحتاج هذه البذور إلى الضوء لإنباتها ومثال لذلك بذور حشيشة عرف الديك *Amaranthus caudatus* وأيضا أنواع من الحشائش التابعة لجنس *Chenopodium*. وقد قام Flint & McAlister عام ١٩٣٧ بأستعمال الومضات الضوئية flash light لأختبارها فى إنبات بذور الخس وذلك بإستعمال نوعين من الضوء. وهما الضوء الأحمر أى طول الموجه ٦٦٠ نانومتر. واستعملا أيضا نوع آخر وهو الأحمر البعيد far red ذو طول الموجه ٧٢٠ نانومتر. فعند تعريض بذور الخس من صنف Grand Rapids إلى الضوء الأحمر يحدث إنبات ولكن عند تعريض البذور للضوء الأحمر البعيد فإنه لا يحدث إنبات وعند عمل تعاقب من الومضات الضوئية من الضوء الأحمر والأحمر البعيد فإن كل من نوعين الضوء يلغى تأثير الآخر ويصبح التأثير النهائى لآخر نوع من الضوء المستعمل فى عمل الومضة فإذا استعمل الضوء الأحمر كأخر ومضة ضوئية فأن البذور تنبت وإذا آستعمل الضوء الأحمر البعيد كآخر ومضة ضوئية فإن البذور لا تنبت . يتضح آن هذا التأثير يتحكم فيه صبغة معينة (جدول ٢٣).

(جدول ٢٣) : إنبات بذور الخس بعد التعريض للضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد.

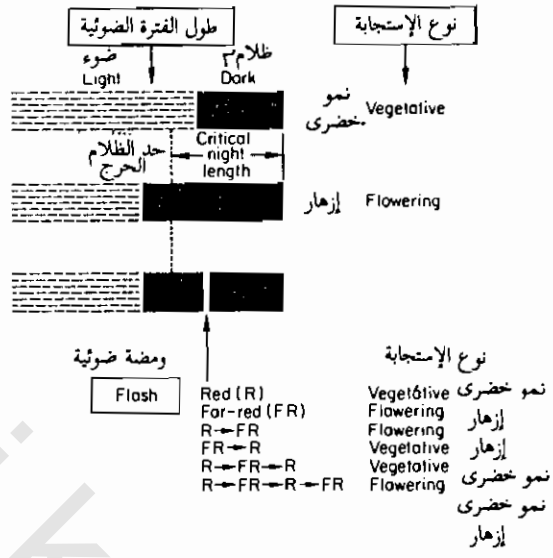
نوع الضوء	إنبات البذور (٪)
None (ظلام Control)	٨
R	٩٨
R+FR	٥٤
R+FR+R	١٠٠
R+FR+R+FR	٤٣
R+FR+R+FR+R	٩٩
R+FR+R+FR+R+FR	٥٤
R+FR+R+FR+R+FR+R	٩٨

٤ ـ بعد قيام كلا من Borthwick & Hendricks بعمل تجارب كثيرة بإستخدام الومضات الضوئية وبأستخدام الضوء الأحمر والأحمر البعيد فقد أتضح لهما أن التأثير يختلف بأختلاف نوع النبات ففى حالة نبات فول الصويا وهو من نباتات النهار القصير وعند تعريضه أثناء فترة الظلام لومضة ضوئية يفضل أن تكون فى منتصف فترة الظلام فإن النتيجة هى منع الأزهار ويصبح النمو خضرى دون أزهار. وفى حالة تعريضه أثناء فترة الظلام لومضة ضوئية من الضوء الأحمر فأن النتيجة هى منع الأزهار أيضا ويصبح النمو خضرى دون أزهار. ولكن فى حالة قطع فترة الظلام بومضة من الضوء الأحمر البعيد فإن النبات يزهر طبيعياً. وفى حالة إستعمال ومضة من الضوء الأحمر ثم ومضة من الضوء الأحمر البعيد أثناء فترة الظلام فإن الأزهار يستمر وفى حالة إستعمال ومضة من الضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد ثم الأحمر فإن الإزهار يتوقف. وقد أستنتجا أن النبات يستجيب لآخر ومضة ضوئية.

ومن هذه التجارب إتضح أيضاً أن كلا النوعين من الضوء يلغى كل منهما تأثير الآخر ففى نبات مثل فول الصويا فإن تعريضه للضوء الأحمر لايزهر وتعريضه للأحمر البعيد يزهر (شكلى ٢٢١ ، ٢٢٢).



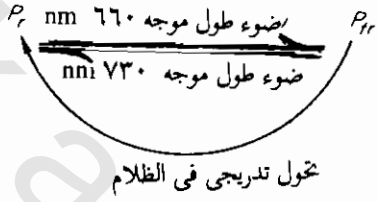
(شكل ٢٢١) : تأثير الومضة الضوئية على إزهار النبات وتأثيرها على التواقت الضوئى.



(شكل ٢٢٢) : تأثير نوع الومضة الضوئية على إزهار النباتات قصيرة النهار.

ومن ذلك تم إستنتاج أنه لابد من وجود صبغة معينة تتحكم فى هذا النوع من التفاعل الضوئى. ومن المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير على النبات فإنه يمتص أولاً بواسطة صبغة متخصصة فى النبات . ومثال ذلك أن عملية البناء الضوئى للنبات هى عملية متخصصة تحتاج إلى الضوء ولكى يحدث هذا الضوء تأثيره فى داخل النبات فلابد أن يمتص أولاً بواسطة صبغات متخصصة وهى صبغة كلورفيل AوB وكما هو معروف بالنسبة لعملية البناء الضوئى. ولكن من المعروف أن عملية البناء الضوئى تحدث بدرجة كبيرة وأن الضوء الفعال هو الضوء الفعال فى حدوثها هو الضوء الأحمر والضوء الأزرق ولكن فى هذه العملية فإن الضوء الأحمر فقط وأن الضوء الأزرق ليس له أى تأثير. ومن ذلك أستنتجا أن الصبغة المسئولة عن إمتصاص الضوء الأحمر فى هذه الحالة ليست بالقطع صبغة الكلوروفيل ولابد من وجود صبغة أخرى تمتص الضوء الأحمر بشدة دون الألوان الأخرى وقد قاما بإفتراض وجود هذه الصبغة.

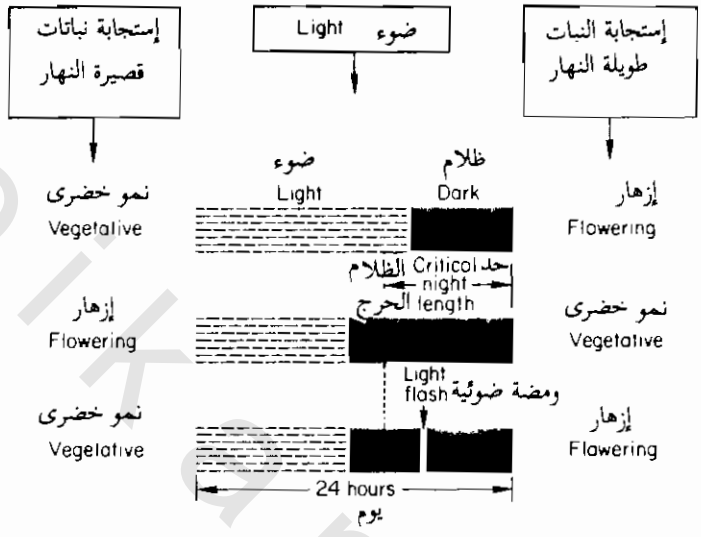
وقد وضعا هذا الإفتراض والذى ثبت صحته منذ ذلك الوقت حتى الآن. وقد أفترضا أن هذه الصبغة توجد فى صورتين أحدهما يمتص الضوء الأحمر ذو طول الموجة ٦٦٠ نانومتر ويرمز لهذه الصورة من الصبغة بالرمز Pr وهى إختصار لكلمة صبغة أى Pigment والحرف r إختصار للضوء الأحمر ونتيجة لإمتصاص الصبغة لهذا الضوء تتحول إلى الصبغة P_{fr}. تعتبر P_{fr} هى الصورة الثانية للصبغة حيث أنها تكون متخصصة فى إمتصاص الضوء الأحمر البعيد ذو طول الموجة ٧٣٠ نانومتر وتتحول نتيجة لذلك إلى الصبغة Pr. وهكذا يكون لهذه الصبغة صورتين تتحول كل منهما إلى الأخرى (شكل ٢٢٣) تبعاً لنوع الضوء الممتص.



(شكل ٢٢٣) : تحول صبغة P_{fr} إلى Pr والعكس

وقد وجد هذان العالمان أن النتيجة عكسية عند تعريض النباتات طويلة النهار لومضات ضوئية أثناء فترة الظلام. فإن تعريض فترة الظلام لومضة ضوئية للضوء الأحمر R فإن النبات يزهر وعند تعريضها لومضة ضوئية من الـ Fr فإن النبات لايزهر وهكذا يلغى كل نوع من الضوء تأثير الآخر فعند تعريض الظلام لومضةR ثمFr ثمR فإن النبات يزهر. وقد تم تعليل ذلك بأن صبغة الـ Pfr تتحول تدريجيا فى أثناء الليل أو الظلام تلقائيا إلى صبغة Pr أى يمكن لصبغة P_{fr} أن تتحول إلى صبغة Pr بإحدى حالتين وهو التعرض للضوء الأحمر البعيد بطول موجه ٧٣٠ نانومتر او فترة ظلام طويلة حيث يتحول الـ P_{fr} تدريجياً بزيادة مدة الظلام إلى Pr. ففى فترات الظلام الطويلة يتحول الـ P_{fr} إلى الـ P_r بدرجة كبيرة.

وقد إتضح بعد ذلك أن النباتات طويلة النهار يلائمها وجود صبغة الـ P_{fr} والنباتات قصيره النهار يلائمها P_r لكى تزهر كما فى المعادلة (شكل ٢٢٤).



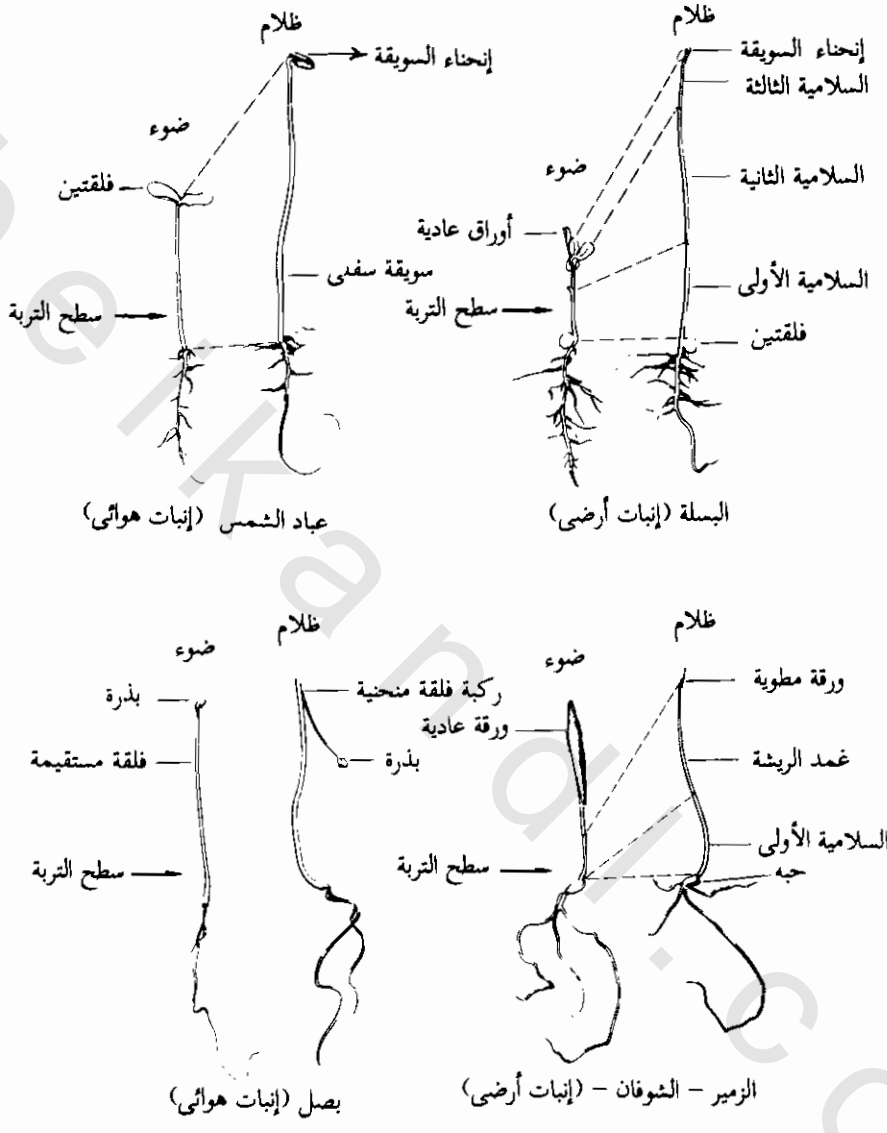
(شكل ٢٢٤) : تأثير الومضة الضوئية على إزهار النباتات طويلة النهار والنباتات قصيرة النهار.

وبناء على هذه القاعدة يمكن تفسير الومضات الضوئية السابق ذكرها ففى حالة النباتات ذات النهار الطويل تحتاج إلى ليل قصير لكى لايتم تحويل الـ P_{fr} إلى الـ P_r أو جزء كبير منها ولذلك يحدث إزهار النباتات طويلة النهار والعكس صحيح فى النباتات قصيرة النهار حيث تحتاج إلى صبغة Pr ولذلك تحتاج إلى ليل طويل وهكذا يمكن تعليل كيفية إستجابة النبات للنهار الطويل أو النهار القصير. وقد أمكن عزل هذه الصبغة وتحديد تركيبها الجزيئى كما سيلى ذكره وقد سميت بصبغة الفيتوكروم phytochrome حيث أن المقطع phyto باللاتينى أى نبات والمقطع chrome أى صبغة.

ومن ذلك يتضح أن النباتات يمكن أن تقوم بقياس الزمن وتشعر بطول فترة الإضاءة وتستجيب لطول هذه الفترة بحساسية زائدة ومفرطة تصل إلى حوالى ٥ـ١٠ دقائق كما سبق ذكره. ولذلك تعتبر صبغة الفيتوكرم هى الميقاتى لعملية الإزهار فى النبات ولذلك يتضح أن للنبات ساعة يمكن أن تقيس الزمن بدقة بالغة وتسمى هذه الساعة بالساعة البيولوجية.

٥ ـ بدراسة حالة الشحوب الضوئى فى بادرات albino والتى تتميز بخلوها من الكلوروفيل ومنها نباتات القطن والذرة والقمح والشعير والبسلة والفاصوليا والبطيخ والفول والخيار. وتتميز جميع هذه البادرات بخلوها من الكلوروفيل وبالرغم من ذلك فإن حالة الشحوب التى تتميز بها هذه البادرات من إنحناء القمة النامية للريشة وصغر وتداخل الأوراق فإنه يمكن معادلة هذا التأثير بتعريض هذه النباتات للضوء حتى تصبح مماثلة للبادرات العادية فيما عدا خلوها من الكلوروفيل ومن ذلك إثبات ودليل قاطع على أن هذه البادرات الألبينو الخالية من الكلوروفيل تماما تستجيب لتأثير الضوء كالبادرة العادية تماماً ومن هذا يتضح بالقطع أن الصبغة المسئولة عن إمتصاص الضوء هى بالقطع ليست صبغة الكلوروفيل وتكون صبغة أخرى فى هذه البادرات الألبينو وهى بالطبع الفيتوكروم.

٦ ـ يتضح أن الضوء لازم لتكوين وتكشف البادرات فى النباتات المختلفة وقد وجد أيضاً نفس التأثير للضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد على تكشف البادرات . ويوجد طرق مختلفة لإنبات البادرات تختلف بإختلاف النبات . ففى النباتات ذوات الفلقتين مثل القطن والفاصوليا والطماطم وعباد الشمس والخيار نجد أن الإنبات هوائى (شكل ٢٢٥) حيث تستطيل السويقة الجنينية السفلى بدرجة كبيرة وتحمل البذرة ومابها من ورقتين فلقيتين إلى فوق سطح التربة وفى هذه الأثناء تكون قمة السويقة منحنية وهذا الإنحناء مرغوب فيه حيث يحمى الريشة والقمة النامية للبادرة من الإحتكاك بالتربة وبالتالى يمنع فسادها حيث يسبب الإنحناء للسويقة الجنينية فتح المجال أمام البادرة فى التربة لكى تنمو دون أى تأثير ضار على القمة النامية والذى



(شكل ٢٢٥) : photomorphogenesis فى البادرات.

قد يسبب موتها. وعند ظهور السويقة الجنينية فوق سطح التربة فإنها تأخذ فى الإستطالة والإعتدال وتكون الأوراق وتكبر فى الحجم ويتكون الكلوروفيل وتأخذ الأوراق شكلها ولونها الطبيعى. والعكس صحيح فى حالة نبات الفول والبسلة والفول السودانى حيث أن الإنبات أرضى حيث تكون سرعة أستطالة السويقة الجنينية العليا كبيرة نسبياً ولذلك تبقى الفلقتين تحت سطح التربة وتنمو السويقة الجنينية العليا وتكن قمتها منحنية تحت سطح التربة لتمنع إحتكاك القمة النامية بحبيبات التربة والتى قد تؤثر عليها تأثير ضار وعندما تظهر السويقة الجنينية العليا فوق سطح التربة فإنها تستقيم وتعتدل وتتكون الأوراق والكلوروفيل بطريقة طبيعية وتأخذ حجمها الطبيعى. وفى وجود الظلام فى هاتين الحالتين فى الإنبات الأرضى والهوائى فإن قمة السويقة الجنينية العليا أو السفلى تظل منحنية كما هى وتصبح فائقة الطول وأوراقها صغيرة غير متكشفة تماماً ولونها أخضر باهت أى مصفر ومن ذلك يتضح أن للضوء تأثير هام فى هذه الحالة على إستقامة السويقة الجنينية وعلى تكشف الأوراق وعلى تكوين الكلوروفيل والطول العادى.

ومن ذلك يتضح أن النبات النامى فى الظلام شاحب فى اللون والقمة ملتوية والأوراق صغيرة وغير متكشفة ولونها أصفر باهت كما أنه يكون زائد الطول.

أما فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة فإن الإنبات يختلف بإختلاف النبات ففى العائلة النجيلية (شكل ٢٢٥) فإن الريشة توجد داخل غمد يسمى غمد الريشة وذلك عند إنبات الحبوب. ولذلك فإن القمة النامية والريشة محفوظة طبيعياً بداخل غلاف يسمى غمد الريشة ولذلك فإن نمو الريشة يكون مستقيماً تماماً تحت سطح التربة وهكذا حتى يخترق غمد الريشة سطح التربة وبعد ذلك تخرج الريشة من غمد الريشة وتتكون الورقة الأولى بالشكل الطبيعى واللون الأخضر الطبيعى وهنا لايحتاج النبات إلى وجود الإنحناء تحت سطح التربة كما فى حالة المثالين السابقين حيث أن الريشة محمية طبيعياً بغلاف خاص وفى هذه الحالة يوجد طول زائد فى

حالة الشحوب الضوئى بغمد الريشة كما أن الورقة تكون صغيرة وغير متكشفة أى ضعيفة التكشف ولونها أصفر باهت. وتوجد حالة أخرى من الإنبات كما فى حالة إنبات البصل وهو من نباتات الفلقة الواحدة أيضاً وفى هذه الحالة يحدث الأنبات ويخرج جزء من الفلقة من البذرة ويتكون الجذير وتكون السويقة الجنينية السفلى منحنية وتحمل طرف الريشة لأعلى ثم تستقيم. والأنحناء فى السويقة الجنينية السفلى يحمى الريشة والجزء الطرفى من الإحتكاك بالتربة. ومن ذلك يتضح أنه فى وجود الظلام فإنه يتم تكوين الركبة ويصبح النبات طويل وشاحب اللون والريشة لم تتكشف بعد.

وفى جميع الحالات السابقة يتضح أن الضوء له تأثير فى تكوين البادرات بدرجة كبيرة كما أنه يساعد على تكوين اللون الأخضر الطبيعى أى أنه يساعد على تحويل البلاستيدات الخضراء الشاحبة etioplasts إلى بلاستيدات خضراء عادية chloroplasts. كما أن للضوء دور فى تكشف الأوراق وتكوينها بالشكل والحجم الطبيعى. وفى بعض أنواع الإنبات يكون له دور فى إستقامة السويقة كما فى القطن والخيار والبسلة والفلقة فى البصل وفى جميع الحالات يقلل من طول السويقة وغمد الريشة والفلقة.

وقد إتضح فيما بعد أن الضوء الأحمر هو المسئول عن photomorphogenesis فى البادرات ومنها أستقامة القمة المنحنية للسويقة الجنينية العليا والسفلى وأيضاً يسبب قصر طول السويقة الجنينية فى البادرات العادية والشاحبة وأيضاً الحالات الأخرى وهى إصفرار النباتات وتحولها للون الأخضر وتحول الأوراق الصغيرة إلى أوراق عادية خضراء يتحكم فيها الضوء الأحمر. كما وجد أن الضوء الأحمر البعيد FR له تأثير معاكس لتأثير الضوء الأحمر. فعند تعريض النباتات للـ FR بإستمرار فإن البادرة لن تأخذ الشكل الطبيعى وتستمر قمتها منحنية إلى أسفل وقد وجد نفس التأثير المعاكس لكلا نوعى الضوء أيضاً عند إستخدام الومضة الضوئية.

فعند إستخدام اللون الأحمر البعيد ثم اللون الأحمر فإنه يحدث تحول البادرات إلى الحالة الطبيعية وعند إستخدام العكس وهو الضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد فإن البادرات تظهر حالة الشحوب الضوئى وهكذا فإن التأثير يكون لآخر نوع من أنواع الومضةالضوئية.

ففى حالة R ثم FR ثم R تكون البادرة طبيعية.

فى حالة R ثم FR ثم R ثم FR تكون البادرة شاحبة ضوئيا.

٧ ـ وجد أن الضوء يؤثر على إنبات بعض بذور الحشائش كما فى الحالة السابقة لبذور الخس ومن هـذه الحشائش *Rumex obtusifolius* و *Chenopodium album* و *Plantago major* . حيث تتأثر حالة إنبات البذور بالضوء الأحمر والأحمر البعيد كما فى حالة بذور الخس تماما.

٨ ـ وجدت بعض الحالات مماثلة فى النباتات السرخسية والحزازية. فقد وجد أن جراثيم النبات السرخسى *Osmunda* تحتاج إلى الضوء لكى تنبت وتتأثر فى ذلك بالضوء الأحمر والأحمر البعيد كما فى حالة فى بذور الخس تماما. كما وجد أن النبات الحزازى ماركنتيا *Marchantia* يحتاج إلى الضوء لتكوين الجسم الخضرى للنبات ويتأثر فى ذلك أيضا بالضوء الأحمر والأحمر البعيد. فى جميع الحالات السابقة يتضح أن أى حالة أو ظاهرة أو عملية تتأثر عكسيا بالضوء الأحمر والأحمر البعيد فإن صبغة الفيتوكروم تكون هى الصبغة المسئولة عن ذلك.

كيفية التعرف علي تركيب الفيتوكروم

بعد عمل تجارب كثيرة أثبتت وجود الفيتوكروم فقد كان لزاماً عزل الفيتوكروم والتعرف على تركيبة. قد تمكن زملاء Borthwick & Hendricks وأهمهم Siegilman و Butler و Norris من أستخلاص صبغة وتنقيتها جزئياً لها كثير من صفات الفيتوكروم. وجد أن الفيتوكروم يتكون من جزء بروتينى وجزء آخر ملتصق

به يسمى prosthetic group يتكون من حلقة مفتوحة من تيترابيرول open-chain tetrapyrrole type .

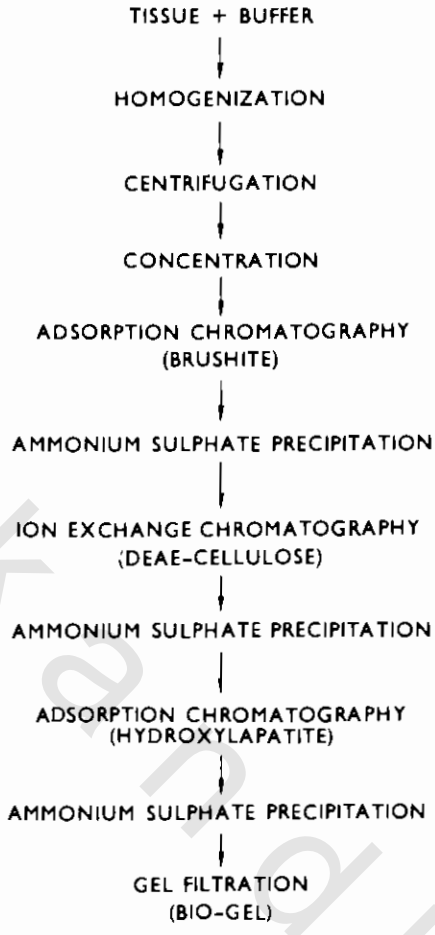
توجد أدلة على أن الفيتوكروم يختلف فى تركيبه الجزيئى وفى ثباته وفى حركيات تحوله من صورة إلى أخرى kinetics of conversion ولذلك فإنه يوجد فى حالات مختلفة داخل الخلية. وجد أيضاً أن الفيتوكروم يشابه فى تركيبه جزيئ صبغة الفيكوسيانين phycocyanin الموجودة فى الطحالب الخضراء المزرقة. أتضح أيضاً أن حالة Pfr من الفيتوكروم تكون أقل ثباتاً من حالة Pr حيث يحدث لها عملية دنتره denaturation بسهولة بواسطة تركيزات عالية من اليوريا ويسهل أيضاً مهاجمة الجزيئ بواسطة بعض المركبات مثل P-chloromercuribenzoate والتى تتحد بمجموعة SH الموجودة فى البروتين. تعتبر حالة Pr أكثر قابلية للتأثر بالألدهيدات مثل الفورمالدهيد والجلوتار ألدهيد glutaraldhyde. وبعمل تجارب بأستخدام الومضات ذات الطاقة العالية للتحليل الضوئىhigh-energy flash photolysis بأستخدام أجهزة متقدمة أمكـن إثبات أن تحـول Pr إلى P_{fr} أو العكس لا يحدث فى خطوة واحدة بل توجد حالات وأشكال من الفيتوكروم وسطية بين هاتين الحالتين transient intermediates .

تعتبر أفضل طريقة لإستخلاص الفيتوكروم هى أستخلاصه من بادرات شاحبه ضوئياً أى نامية فى الظلام لنباتات ذات فلقة واحدة مثل الزمير والراى كما يمكن إستخلاصه من بادرات ذوات الفلقتين مثل البسلة. يمكن إستخلاص الفيتوكروم من نباتات عادية غير شاحبة ضوئياً بصعوبة. يختلف تركيز الفيتوكروم فى أجزاء البادرة الشاحبة (شكل ٢٢٦). يتم أستخلاص الفيتوكروم من غمد الريشة لبادرات شاحبة ضوئياً لنبات الزمير وذلك بسحقها فى محلول منظم له درجة pH أعلى من ٧,٣. وحيث أن تركيز الفيتوكروم قليل جداً فإنه يلزم إستعمال كميات كبيرة من الأنسجة والمحلول المنظم المستعمل فى الأستخلاص. وحيث أن البروتين يدخل فى

تركيب الجزيئ ولذلك يلزم أن يكون الأستخلاص فى درجة حرارة منخفضة حوالى صفر درجة مئوية حيث أن البروتين فى درجات الحرارة العادية يمكن أن يتغير فى تركيبه أو صفاته بسهولة أثناء الأستخلاص علاوة على ذلك يضاف عامل مختزل مثل مركابتو إيثانول mercaptoethanol أثناء عملية الأستخلاص. تجرى عملية الأستخلاص فى ضوء أخضر معتم حيث يكون الفيتوكروم فى صورة Pr وثابت على هذه الصورة أو الحالة بدرجة كبيرة .تجرى خطوات الأستخلاص كما فى الشكل (شكل ٢٢٧).

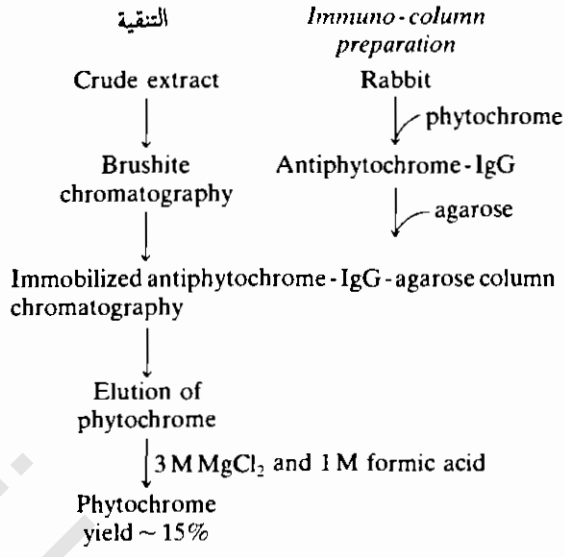
(شكل ٢٢٦) : توزيع الفيتوكروم فى بادرة بسلة شاحبة ضوئياً .

يمكن أيضاً عزل وتنقية الفيتوكروم بواسطة طريقة immuno-affinity chromatography وقد أمكن بإستعمال هذه الطريقة الحصول على كمية كبيرة من الفيتوكروم الزائد النقاوة highly purified وفيما يلى ملخص لهذه الطريقة (شكل ٢٢٨).



(شكل ٢٢٧) : خطوات أستخلاص الفيتوكروم من بادرة زمير شاحبة ضوئياً.

يمكن أيضاً عزل وتنقية الفيتوكروم بواسطة طريقة hydrophobic affinity chromatography. يمكن تلخيص فكرة هذه الطريقة فى أن الفيتوكروم يرتبط بالصبغة فى الأجاروز أى يكون agrose-immobilized Cibacron blue dye. وقد تمكن Smith & Daniels عام ١٩٨١ من تطوير طريقة Affinity-Gel Blue chromatography وأمكن الحصول على فيتوكروم زائد النقاوة حيث أن SAR تتراوح بين ٨٨, إلى ١,١٥ وذلك فى بادرات الراى. تعتبر SAR مقياس لدرجة نقاوة الفيتوكروم وكلما زادت درجة النقاوة كلما زادت القيمة.



(شكل ٢٢٨) : Immuno-affinity chromatographic method .

تعتبر SAR إختصار لـ specific absorbance ratio عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر وطول موجة أخرى ٢٨٠ نانومتر. حيث يتم قياس أمتصاص الصبغة Pr عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر ويتم قياس إمتصاص الأحماض الأمينية الأروماتية الناتجة عن تحلل بروتين الفيتوكروم aromatic amino acid residues عند طول موجة ٢٨٠ نانومتر.

حيث أن $SAR = AA660/ A280$

حيث أن A هى درجة إمتصاص الضوء Absorbance .

وفيما يلى ملخص للطريقة التى إستعملها سميث ودانيلز (شكل ٢٢٩).

تعتبر طريقة immuno-affinity ذات مزايا عديدة ولكن العيب الوحيد فى هذه الطريقة هو صعوبة عمل عمود مضاد الفيتوكروم antiphytochrome column كما أنه من الصعب أن يعاد إستعماله.

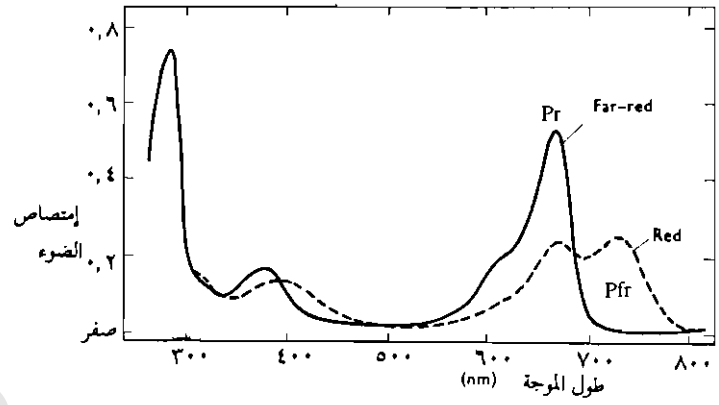
Crude extract
↓
Brushite chromatography
↓
Ammonium sulfate fractionation
↓
Affi-Gel Blue (BioRad) column chromatography
↓
Elution with 10 mM flavin mononucleotide (FMN)
↓
Gel filtration chromatography
↓ BioGel A1.5 m
Phytochrome, yield ~ 10–25%

(شكل ٢٢٩) : Hydrophobic affinity chromatographic method.

وفى حالة إستعمال طريقة الصبغة الزرقاء Affinity - Gel Blue chromatography فإن محلول الإزالة eluting agent وهو عبارة عن FMN لابد وأن يتم تنقيته تماماً أولاً لأن ملوثات الفلافين مثل ليوميكروم lumichrome تلتصق بشدة بالفيتوكروم النقى وبذلك تؤثر على بعض خواص الفيتوكروم. يمكن تلافى العقبة السابقة بإستعمال FMN نقى تماماً وأيضاً منع تحلل الفلافين أثناء العزل والتنقية بإستعمال ضوء أخضر أثناء الإستخلاص والعزل والتنقية وحيث أن الفلافينات تمتص الضوء الأخضر فلابد من حماية FMN من الضوء.

يوضح طيف إمتصاص absorption spectrum صبغة الفيتوكـروم فى الحالتينPr و Pfr أنه فى حالة Pr تكون قمة الإمتصاص عند ٦٦٤و٣٧٨ نانومتر بينما فى حالة Pfr تكون قمة الإمتصاص عند ٧١٩ و ٣٩٢ نانومتر (شكل ٢٣٠) وقد تم عمل ذلك بإستعمال طريقة Affinity Gel Blue chromatography.

يعزل وينقى عادة الفيتوكروم فى الصورة Pr وهذا لايعنى أن الفيتوكروم لايمكن عزله فى الصورة Pfr. يحدث أثناء تنقية الفيتوكروم صعوبات كثيرة أهمها مايأتى:



(شكل ٢٣٠) : طيف الأمتصاص لصبغة الفيتوكروم بعد التعريض للضوء الأحمر أو الضوء الأحمر البعيد.

١ ـ يحدث أثناء التنقية تحلل للبروتين proteolysis حيث يتم إنفصال جزء بروتينى وزنه ستة آلاف دالتون من بروتين الفيتوكروم فى حالة Pr ولكن يمكن تقليل تحلل البروتين إلى أقل مايمكن أثناء التنقية فى حالة Pfr. أى أن درجة تحلل البروتين أثناء التنقية تكون كبيرة فى حالة Pr وقليلة فى حالة Pfr.

٢ ـ يكون تركيز الفيتوكروم ضئيل جداً فى الأنسجة النباتية.

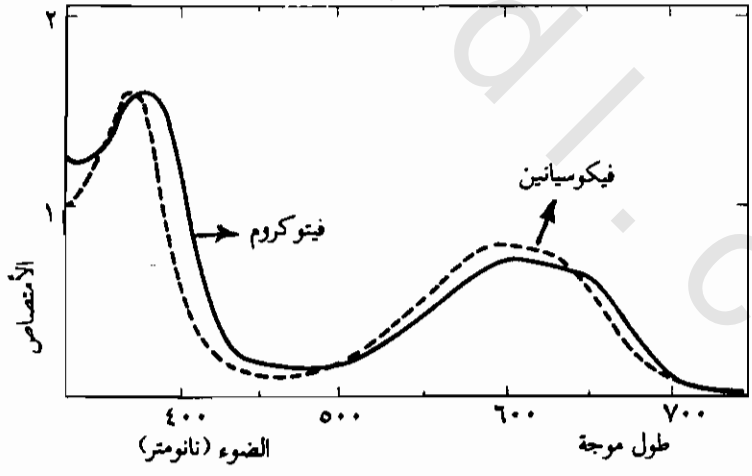
٣ ـ عدم الثبات الحرارى والكيموضوئى thermal and photochemical instability.

٤ ـ وجود مثبطات الفيتوكروم مثل مركبات saponins.

٥ ـ إختلال أوتوقف أو تغير طيف الإمتصاص للفيتوكروم نتيجة لوجود مركبات طبيعية فى النبات أو مضافة أثناء الإستخلاص والتنقية.

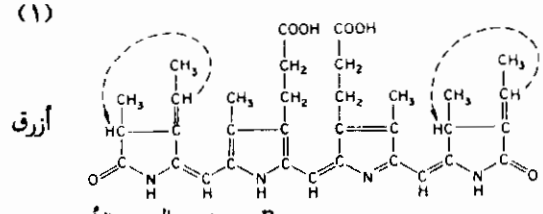
يتحول لون صبغة Pr وهو الأخضر المزرق بعدتعريضه للأشعة الحمراء إلى لون صبغة Pfrوهو الأخضر. يمتص Pfr الضوء الأحمر البعيد ويتحول مرة أخرى إلى Pr. يلاحظ إختلاف لون صبغة الفيتوكروم فى الحالتين وهما الأخضر المزرق والأخضر. وجد أن الضوء الأحمر يسمح بتحول عكسى لجزء من Pfr إلى Pr وذلك إلى حدما وبتركيز قليل ولذلك فإن تعريض الفيتوكروم للأشعة الحمراء

المركزة ينتج عنه مخلوط من الحالتين بتركيزات مختلفة وهى ٨٠٪ Pfr و٢٠٪ Pr. ولكن فى حالة تعريض الفيتوكروم للأشعة الأحمر البعيد المركزة ينتج ٣٪ Pfrو ٩٧٪ Pr. ولذلك فإن طيف التأثير action spectra والمؤثر على الإستجابة للعمليات الفسيولوجية لحالتى صبغة الفيتوكروم قد دعى Hendricks ومساعدوه إلى الإعتقاد بوجود تشابه بين التترابيرول tetrapyrrole الموجود فى جزيئ الفيتوكروم وبين صبغة الفيكوسيانين الموجودة فى الطحالب الخضراء المزرقة. وقد أمكن إثبات ذلك عند دراسة طيف الإمتصاص absorption spectrum لمحلول نقى من الفيتوكروم. حيث وجد أنه مطابق لطيف الإمتصاص لصبغة الفيكوسيانين (شكل ٢٣١). أما عن طبيعة جزيئ التترابيرول فهو غير معروف بالضبط وذلك لصعوبة الحصول على كميات كبيرة منه تكفى لعمل التحاليل الكيماوية اللازمة ، وقد أمكن إستنتاج ميكانيكية تحول جزيئ التترابيرول من حالة Pr إلى Pfr والعكس ويكون نتيجة لزيادة آيون أو ذرة إيدروجين فى حالة Pr ونقص هذا الأيون أو هذه الذرة فى حالة Pfr (شكل ٢٣٢). ويعتقد البعض أن التغيير هو نتيجة لإنتقال موضع ذرتين إيدروجين على هذا الجزيئ (شكل ٢٣٢).

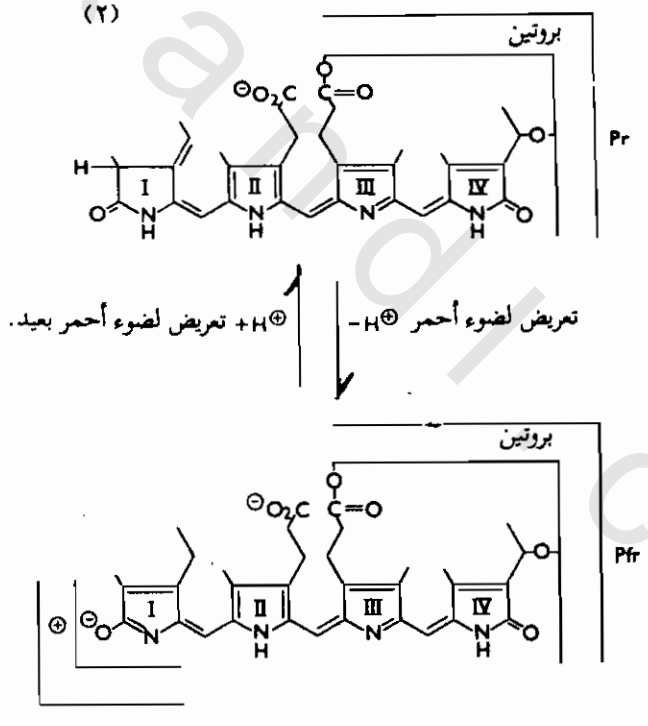


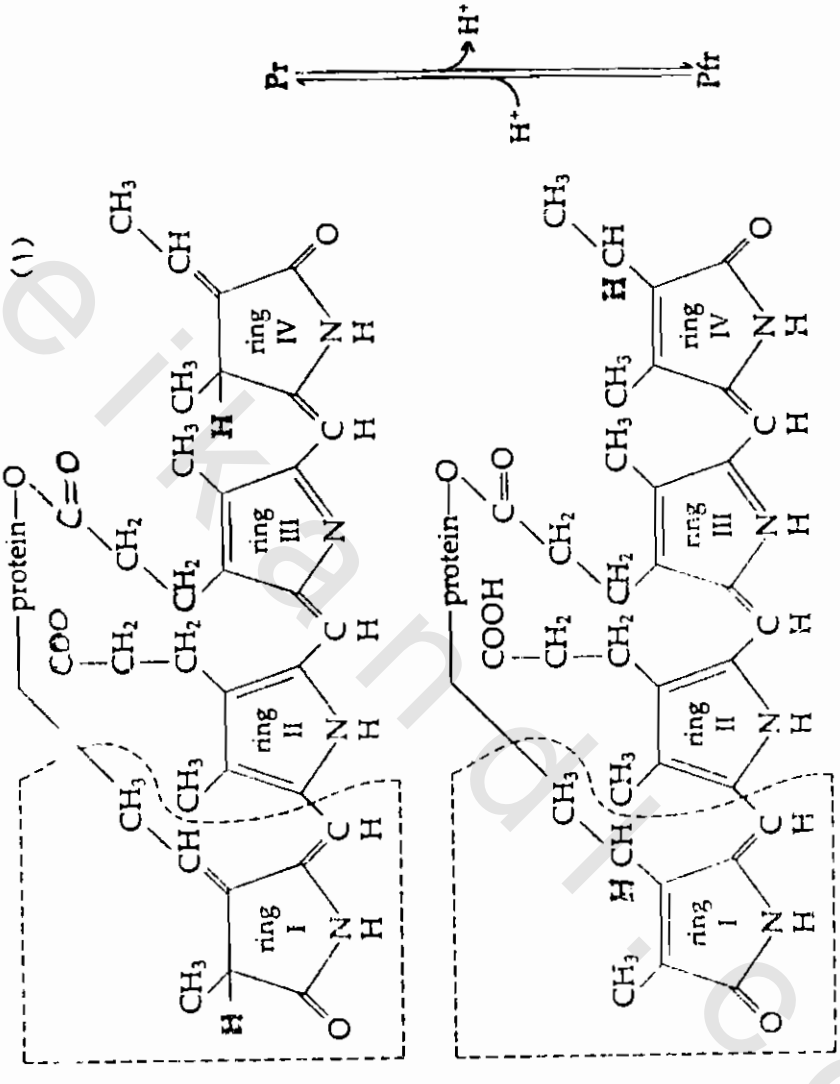
(شكل ٢٣١) : مقارنة بين طيف الإمتصاص للفيتوكروم وصبغة الفيكوسيانين .

(١)


أزرق
يمتص الضوء الأحمر Pr (absorbs red light)
تعريض لضوء أحمر Red
ضوء أحمر بعيد Far-red
يمتص الضوء الأحمر البعيد Pfr (absorbs far-red radiation)
أخضر

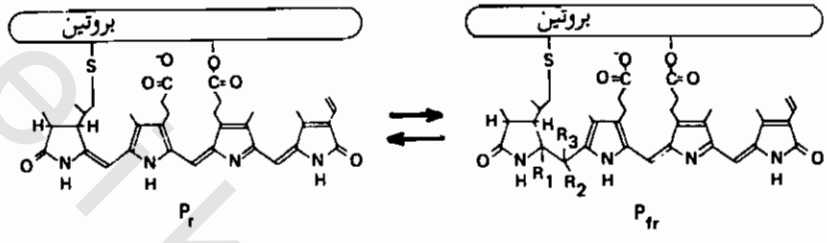
(٢)


بروتين
Pr
تعريض لضوء أحمر $H^{\oplus}$-
$H^{\oplus}$+ تعريض لضوء أحمر بعيد.
بروتين
Pfr



(شكل ٢٣٢) : التغيير فى التركيب الجزيئى للفيتوكروم ليتحول من P_{fr} إلى P_r والعكس صحيح. حالتين هما رقم ١ ورقم ٢.

أى أن ميكانيكية التحول من Pr إلى Pfr والعكس هو نتيجة لإختلاف موضع ذرتين إيدروجين أو نتيجة لزيادة ونقص أيون أوذرة إيدروجين أو تكوين رابطة مزدوجة ٤ ـ ٥ (شكل ٢٣٣). يمكن القول أن جزيئ الفيتوكروم يتكون من جزئين وهما جزء بروتينى وجزء آخر ملتصق تماماً بالبروتين أى prosthetic group تركيبه تترابيول tetrapyrrole ويسمى حامل اللون أى الكروموفور chromophore.



(شكل ٢٣٣) : تحول P_r إلى P_{fr} والعكس فى وجود الضوء حيث تتكون رابطه مزدوجه ٤ ـ ٥

R_1 و R_2 وR_3 جزيئات غير معروف تركيبها بالضبط.

إتضح من تجارب المعامل المختلفة أن جزيئ الفيتوكروم فى الزمير وزنه الجزيئى ستون ألف دالتون. تمكن كوريل Corell من عزل الفيتوكروم من نبات الراى وكان له وزن جزيئى كبير ولكن بعض حفظه فى درجة حرارة منخفضة أصبح أقل وزناً. تمكن بريجس ومساعدوه عام ١٩٧٢ من تحضير فيتوكروم من الزمير وله وزن جزيئى كبير مائة وعشرون ألف دالتون وآخر له وزن جزيئى صغير ستون ألف دالتون. وبعد حفظ الفيتوكروم الثقيل والخفيف لمدة يوم فى درجة تتراوح بين صفر إلى ٤ درجة مئوية أصبح الفيتوكروم الثقيل ذو وزن صغير أى ستون ألف دالتون وظل الفيتوكروم الصغير محافظاً على وزنه. أمكن إثبات أنه أثناء عملية إستخلاص الفيتوكروم يوجد أنزيم بروتييز protease يحلل بروتين الفيتوكروم أثناء المراحل الأولى من الإستخلاص.

وأن هذا الأنزيم يحلل الفيتوكروم الثقيل إلى الفيتوكروم الخفيف الوزن ذو وزن جزيئى ستون ألف دالتون. يعتبر نبات الراى خال من هذا الأنزيم ولذلك من السهل الحصول على فيتوكروم ثقيل الوزن أى كبير الحجم. أمكن عزل هذا الأنزيم ومعرفة خواصه كما أمكن إجراء عمليات الإستخلاص للفيتوكروم بطرق أكثر دقة لتقليل تأثير هذا الأنزيم إلى حد كبير.

أمكن التعرف على تركيب الفيتوكروم الثقيل الوزن أى الكبير الحجم حيث يتكون من أحماض أمينية عديدة (جدول ٢٤) وهو ذو وزن جزيئى مائة وستون ألف دالتون ومستخلص من الراى.

(جدول ٢٤) : نوع وعدد جزيئات الأحماض الأمينية المكونة لبروتين الفيتوكروم الكبير الحجم المستخلص من الراي.

نوع الحامض الأميني	عدد الجزيئات
ليسين	٥٨
هستدين	٢٨
أرجنين	٤٧
حامض الآسبارتيك	١٠٤
ثريونين	٤٦
سيرين	٧٥
حامض الجلوتاميك	١٢٨
برولين	٨٨
جليسين	٧٧
آلانين	١١٠
سيستين	٥٢
فالين	٨٩
ميثيونين	٣٢
أيزوليوسين	٥٤
ليوسين	١١١
تيروسين	٢٣
فينيل آلانين	٤٣
المجموع	١١٦٥

إتضح من الدراسات السيريولوجية الحديثة والتى تشمل إستخدام الأمصال المضادة antisera الخاصة بجزيئات الفيتوكروم الكبيرة الحجم وأيضاً الصغيرة الحجم أن تحلل جزيئ الفيتوكروم ينتج عنه جزيئ فيتوكروم صغير وزنه ستون ألف دالتون وأيضاً بروتين لايحتوى على حامل ألوان chromophore. يتضح من ذلك أن جزيئ الفيتوكروم الكبير يحتوى على حامل ألوان واحد.

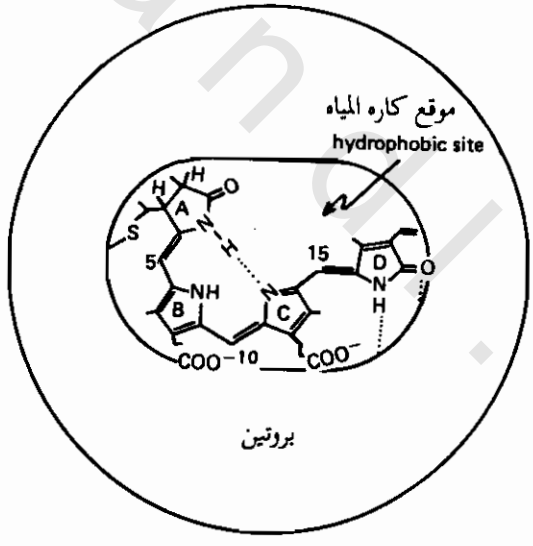
أمكن حديثاً بعد إستعمال أجهزة حديثة وطرق حديثة وضع تفسيرلكيفية التحول الضوئى phototransformation للصبغة Pr إلى الصبغة Pfr. يوجد أيضاً شرح أكثر دقة لتركيب الفيتوكروم فى الحالة Pr من رباعى البيرول chromophore tetrapyrrole يحاط بجزيئ بروتينى apoprotein يتصل رباعى البيرول بالبروتين بواسطة رابطة تعاونية عبارة عن إرتباط رابطة ثيوإثير thioether bond عن طريق ذرة الكبريت مع مجموعة الفينيل فى الحلقة vinyl group of ring AA. يمكن أيضاً أن يتصل حامض البروبيونيك فى سلسلة جانبية أى يرتبط تعاونياً مع البروتين ولو أنه لايوجد دليل أكيد على وجود هذه الرابطة الثانية. كما أنه يوجد شق فى حامل اللون chromophore أى فى رباعى البيرول عند إتصاله بالبروتين وتكون منطقة هذا الشق كارهة للماء hydrophobic.

يوجد أيضاً موقع آخر على البروتين كاره للماء وهذا الموقع هو الذى يتحد مع الفلافين أو مع الصبغة الزرقاء أثناء إختبار Affinity-Gel Blue dye (شكل ٢٣٤) وغير معروف بالضبط مكان الموقع على الجزء البروتينى. توضح هذه النظرية أن التحول الضوئى يسبب درجة معينة من الحركة لحامل اللون ونتيجة لهذه الحركة يصبح حامل اللون مكشوف ونتيجة لهذه الحركة يصبح الشق الكاره للماء الموجود فى حامل اللون معرض للخارج وبذلك يوجد سطح كاره للماء على جزيئ بروتين Pfr (شكل ٢٣٥). وقد يوضح هذا الشرح أو الشكل حركة البلاستيدة الخضراء فى وجود الضوء المستقطب فى حالة الطحلب *Mougeotia*. وغير معروف حتى الان ماهو سبب حركة حامل اللون أو سبب القوة الدافعة لحدوث الحركة. وقد أمكن

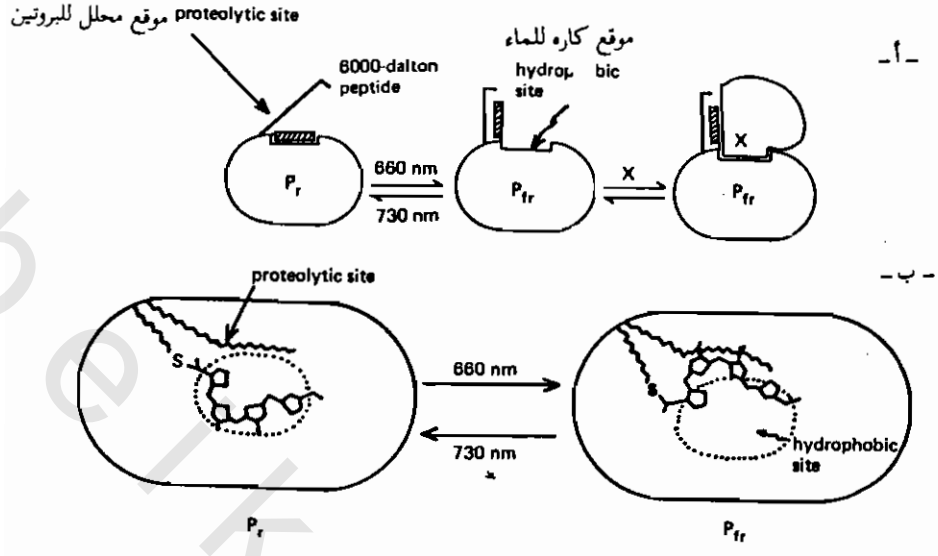
إثبات حركة حامل اللون نتيجة للتحول الضوئى وذلك بتثبيت الفيتوكروم على جزيئات سيفاروز Sepharose وذلك بإستعمال antiphytochrome immunoglobulin. وجد من حركيات التحول الضوئى dichroic photoconversion kinetics للفيتوكروم وجود قيم للزوايا وهى ٣٢ درجة أو ١٤٨ درجة وهى نتيجة للتغير فى إتجاه Qy-transition dipole أثناء التحول الضوئى فى الفيتوكروم وتوضح هذه النتيجة أنه توجد حركة مؤكدة ملموسة ومؤثرة لحامل اللون أثناء التحول الضوئى.

توزيع ومناطق وجود الفيتوكروم فى النبات:

يوجد الفيتوكروم فى كثير من الأنسجة غير الخضراء أى عديمة الكلوروفيل لأنواع عديدة من النبات. تستخدم البادرات الشاحبة ضوئياً etiolated أى النامية فى الظلام بكثرة فى دراسة الفيتوكروم. إتضح أن أعلى تركيز من الفيتوكروم وهو حوالى $١٠^{-٦}$ جزيئى يكون فى المناطق النشيطة النمو مثل مكان إنحناء ريشة بادرة البسلة (شكل ٢٣٤) وعقدة غمد الريشة coleoptilar node لبادرة الزمير.



(شكل ٢٣٤) : تركيب الفيتوكروم (Pr) مرتبط مع البروتين apoprotein عن طريق الرابطة ثيوإثير thioether (-S-). التجويف الهلالى الشكل يعتبر موقع كاره للماء hydrophobic site. يوجد مكان إضافى كاره للماء على البروتين يرتبط بالفلافين أو بالصبغة الزرقاء.



(شكل ٢٣٥) : تحول الفيتوكروم من Pr إلى Pfr.

أ ـ منظر جانبى يوضح شق هلالى الشكل فى حامل اللون يعتبر X غشاء غير معروف أو مستقبل.

ب ـ منظر قمى يوضح تحليل البروتين فىPr وينتج عنه جزيئ ذو وزن جزيئى قدره ستة آلاف دالتون.

يوجد الفيتوكروم فى الجذور والسويقة الجنينية السفلى والفلقات وغمد الريشة والسيقان وأعناق وأنصال الأوراق والبراعم الخضرية والزهرية والتخت والنورات كما يوجد فى البذور والثمار أثناء تكوينها . يوجد الفيتوكروم أيضاً فى الأنسجة الإبتدائية والثانوية.

يوجد الفيتوكروم فى النباتات الزهرية وعاريات البذور والحزازيات والسرخسيات والطحالب. يوجد إختلاف فى الفيتوكروم الموجود فى النباتات الزهرية أى الراقية عن الموجود فى النباتات الأولية مثل الطحالب والحزازيات. أحد الإختلافات الهامة بين الطحالب الخضراء مثل الطحلب الأخضر *Maesotaenium* والنباتات الحزازية مثل النبات الحزازى *Sphaerocarpus* ونبات الزمير هو حدوث إختلاف فى أطوال

الموجات الممتصة بواسطة Pr و Pfr حيث أن أطوال الموجات تكون أقصر فى الطحلب الأخضر عنه فى النبات الحزازى. وأن الأخير أقصر فى طول الموجة عنه فى النبات الزهرى الزمير. وأن طول الموجة فى الصنوبر أقصر من الزمير (جدول ٢٥).

(جدول ٢٥) : أطوال الموجات الممتصة بواسطة الفيتوكروم فى النباتات المختلفة

النبات	تصنيف النبات	حالة الفيتوكروم	طول الموجة الأمثل فى التأثير (نانومتر)	
			Pr	Pfr
الزمير	نباتات زهرية	*in vivo*	٦٦٥	٧٣٥
الصنوبر	عاريات البذور	*in vivo*	٦٥٦	٧١٤
الزمير	نباتات زهرية	*in vitro*	٦٦٠	٧٢٥
Sphaerocarpus	نبات حزازي	*in vitro*	٦٥٥	٧٢٠
Maesotaenium	طحلب أخضر	*in vitro*	٦٤٩	٧١٠

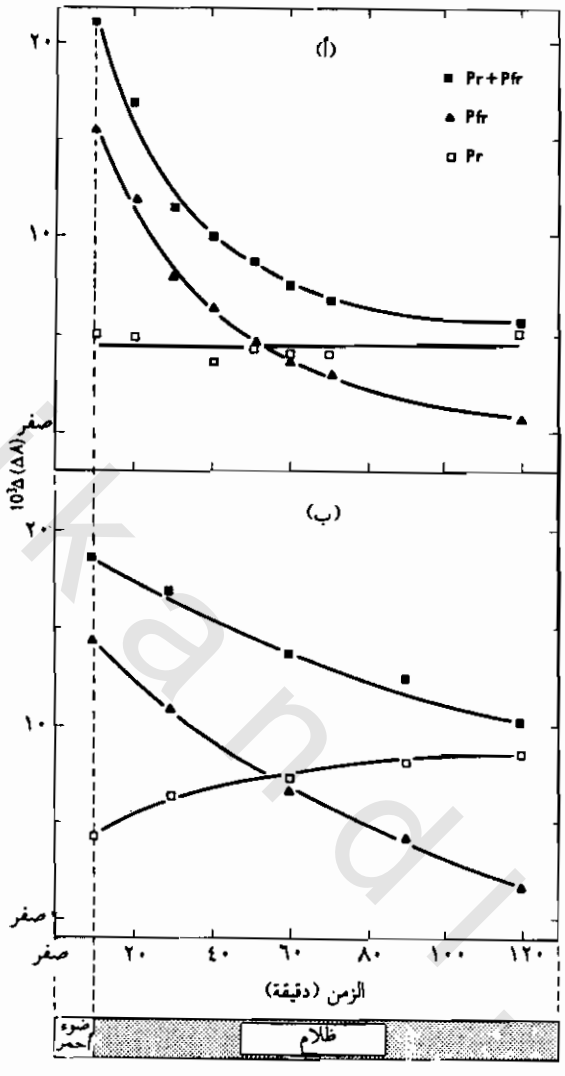
وجد أيضاً إختلافات فى نوع الفيتوكروم حيث إتضح نتيجة للإختبارات السيريولوجية أن أنواع الفيتوكروم فى النباتات الزهرية تختلف فيما بينها. فقد وجد أن المصل المضاد antiserum لفيتوكروم الزمير يمكن أن يتفاعل جزئياً مع فيتوكروم الراى ولكنه يتفاعل بدرجة ضعيفة جداً مع فيتوكروم البسلة. يتضح من ذلك أنه يوجد تقارب أو تشابه جزئى بين فيتوكروم الزمير والراى ولايوجد ذلك أو ضعيف جداً بين الزمير والبسلة. يتضح من ذلك أن الفيتوكروم يختلف فى نوعه من نبات إلى آخر تبعاً للتطور.

تحول Pfr أثناء الظلام Dark Transformations :

يوجد الفيتوكروم فى البادرات الشاحبة ضوئياً أى النامية فى الظلام فى حالة ثابتة

مستقرة stable فى صورة Pr. بعد تحول Pr فى وجود الضوء الأحمر إلى Pfr فإن الأخير يكون غير ثابت وغير مستقر unstable حيث يحدث له تحلل decay أو تحطيم destruction. يمكن قياس درجة التحطيم بواسطة درجة النقص فى تحول Pfr فى وجود الضوء الأحمر البعيد إلى Pr أى photoreversibility. كما توجد أدلة أيضاً على حدوث نقص فعلى فى عدد جزيئات الفيتوكروم. تحتاج عملية التحطيم إلى وجود الأكسجين ويمكن تثبيط عملية التحطيم بأحد مثبطات التحول الغذائى metabolic inhibitors مثل أزيد الصوديوم sodium azide. يقل تركيز الفيتوكروم بدرجة كبيرة نتيجة للتعريض المستمر للضوء الأحمر، وعندما يقل التركيز عن حد معين هو الحد الحرج أو القيمة الحرجةcritical value فإنه يتم تخليق فيتوكروم جديد بواسطة النبات فى صورة Pr وعندئذ يحدث توازن بين سرعة التخليق وسرعة التحطيم للفيتوكروم. يمكن التمييز بين تحول الفيتوكروم من صورة إلى أخرى أو تحطيمه حيث أن كلاهما يحدث فى النبات كما فى الشكل (شكل ٢٣٦).

عامة يوجد فى النبات العادى توازن بين تخليق وتحطيم الفيتوكروم يمكن تلخيصه فى أن تعريض Pr للضوء الأحمر ويرمز لهhv أى طاقة حيث أن hهى ثابت بلانك Planck's constant و v هى ذبذبة الضوء الأحمر فإنه تحدث له تفاعلات عديدة يرمز لها بالرمز d وهى إختصار لتفاعل الظلام dark reaction وفى النهاية يتحول إلى Pfr. يمكن أن ترتبط هذه الصبغة binding بأجزاء أو مركبات فى داخل خلية النبات وتفقد نشاطها أو يحدث لهذه الصبغة تحطيم destruction. تتحول Pfr تدريجياً فى الظلام إلى Pr. يمكن أيضاً أن تتحول Pfr فى وجود الضوء الأحمر البعيد والتى يرمز لها hv وفى تفاعلات عديدة متتابعة يرمز لها بالرمز d إلى Pr مرة أخرى. يتم تخليق الفيتوكروم فى خلية النبات synthesis على هيئة Pr. يمكن أيضاً أن يحدث تدهور وتحلل degradation للصورة Pr (شكل ٢٣٧).



(شكل ٢٢٦) : تأثير الظلام والضوء الأحمر على الفيتوكروم.

أ ـ تحول الفيتوكروم فى الظلام فى بادرة *Amaranthus* بعد تعريضها لضوء أحمر لمدة عشر دقائق فى درجة حرارة ٢٥°م. يوضح الشكل تحطيم Pfr وغياب تحول Pfr إلى Pr فى الظلام.

ب ـ تحول الفيتوكروم فى الظلام فى السويقة الجنينية السفلى لبادرة عباد الشمس بعد تعريضها لضوء أحمر لمدة عشر دقائق فى درجة حرارة ٢٥°م. يوضح الشكل تحطيم Pfr وتحول Pfr إلى Pr تلقائياً فى الظلام.

(شكل ٢٣٧) : ملخص لتفاعلات الفيتوكروم *in vivo*.

يمكن مقارنة ما يحدث لصبغة الفيتوكروم فى خلايا النبات *in vivo* وما يحدث لهذه الصبغة أثناء وبعد إستخلاصها من النبات *in vitro* (جدولى ٢٦ و ٢٧).

(جدول ٢٦) : تفاعلات الفيتوكروم *in vitro* و *in vivo*.

التفاعل Reaction		*In vitro*	*In vivo*
تخليق	Synthesis	–	+
تحلل	Degradation	–	+
تحول عكسي في الظلام	Dark reversion	+	+
تحطيم	Destruction (Decay)	–	+
دنتره	Denaturation	+	–
إرتباط	Binding	+	+

(جدول ٢٧) : تفاعلات الفيتوكروم في خلايا النبات وخارج خلايا النبات.

بعد الإستخلاص *in vitro*	فى خلايا النبات *in vivo*	التفاعل Reaction	
–	+	synthesis	تخليق
–	+	degradation	التحلل والهدم
+	+	dark reversion	التحول فى الظلام
–	+	destruction (decay)	التلف أو التحطيم
+	–	denaturation	الدنتره
+	+	binding	الإرتباط

مدى إنتشار الضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد فى بيئة النبات:

يعتبر الضوء العادى عبارة عن ضوء مركب من ألوان عديدة ومنها الضوء الأحمر وهو أيضاً غنى بالضوء الأحمر بالمقارنة بالضوء الأحمر البعيد.

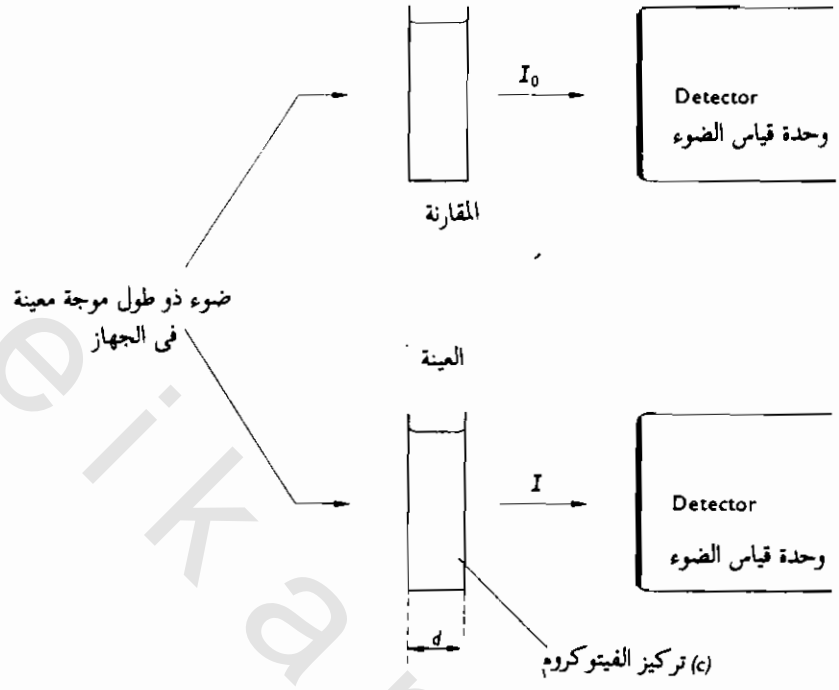
يحتوى النبات فى المعتاد على تركيز من الصبغتين وهما Pr و Pfr ولكن فى أثناء النهار وفى وجود الضوء يمتص الضوء الأحمر وتصبح كمية كبيرة من الفيتوكروم فى صورة Pfr وفى حالة الغابات ووجود الأشجار المتكاثفة فإن الأوراق العلوية المعرضة للضوء تمتص الضوء الأحمر بشدة حيث أنه من المعروف أن الأوراق الخضراء تمتص الضوء الأحمر بشدة وبالتالى فإن الأوراق الخضراء الموجودة فى الأجزاء السفلية من الأشجار تستقبل كمية أقل من الضوء الأحمر وكمية أكبر نسبياً من الضوء الأحمر البعيد أى نسبة مرتفعة من الضوء الأحمر البعيد إلى الأحمر . ونتيجة لذلك يمكن أن يتكون وينشأ أنواع من الفيتوكروم تكون حساسة بدرجة كبيرة للضوء وتصبح مستقصية للضوء light detector .

كيفية تقدير تركيز الفيتوكروم Phytochrome assay:

يمكن تقدير التركيز بواسطة طرق لونية أو طرق سيريولوجية.

أولاً : الطرق اللونية Colorimetric:

يمكن تقدير تركيز الفيتوكروم بالطرق اللونية colorimetric وذلك بإستعمال جهاز يسمى spectrophotometer . وفى هذه الحالة يتم تقدير تركيز المركب بواسطة درجة تركيز اللون ويستعمل لذلك عينة قياسية blank وعينة أخرى تحتوى على المركب المراد قياس تركيزه بواسطة اللون أى مركب الفيتوكروم (شكل ٢٣٨) ويلاحظ أنIo هى شدة الإضاءة light intensity الخارجة من العينة القياسية أى عينة المقارنة control . بينما I هى شدة الإضاءة الخارجة من العينة المراد قياسها.



(شكل ٢٣٨) : فكرة إمتصاص الضوء بواسطة العينة فى القياس بـواسطة جهاز spectrophotometer.

ومن الواضح أنه كلما قلت شدة الأضاءة الخارجة أى قلت I كلما زاد تركيز المحلول ويمكن قياس الضوء الخارج من العينة بواسطة photo cell أى خلية حساسة للضوء وتسمى detector.

ويتضح أن كمية الضوء الممتصة هى absorbance ويرمز لها بالرمز A حيث أنها تتناسب طردياً مع تركيز العينة المراد قياسها concentration ويرمز لها بالرمز C أى أن

$$A \alpha C$$

وأيضاً كلما زاد السمك لمقطع الأنبوبة (وهو distance أى الـ depth ويرمز له بالرمز d) كلما زادت كمية الضوء الممتصة.

obeikandl.com

ولذلك فإن الإمتصاص يتناسب طردياً مع قطر الأنبوبة أى أن:

$$A \ \alpha \ d$$

(١) التركيز (٢) قطر الأنبوبة «وتكون العلاقة طردية»

أى أن $A \ \alpha \ cd$

ويوجد ثابت يسمى extinction coeffecient ويرمز له بالرمز ε وهذا الثابت يكون قيمته واحد وذلك عندما يكون تركيز المحلول واحد جزيئى وقطر الأنبوبة واحد سم ولذلك يكون

$$A \ \alpha \ \varepsilon cd$$

لذلك فإن $A = \varepsilon$ عندما يكون تركيز المحلول ١ جزيئى وسمك الأنبوبة ١سم. وقد وجد أن هذه القاعدة ثابتة فى حالة المحاليل النقية ولكن عند إستخلاص الكلوروفيل والفيتوكروم و الميتوكوندريا أو الأغشية من الخلية.. ألخ من عضيات الخلية أى أجزائها فقد وجد عامل آخر مهم يتدخل فى القياس وهو أن بعض الضوء الساقط على العينة ينعكس ويتبعثر ولايمتص أى أن جزء من الضوء الساقط يمتص وجزء ينعكس ويبتعد أى أن يحدث له تشتت scattering ولذلك فإن الإمتصاص الظاهرى apparent absorbance.

apparent absorbance = real absorbance + scattering

ولذلك فى حالة أجزاء الخلية النباتية والكلوروفيل والفيتوكروم يلزم إضافة B وهى عبارة عن معامل التشتت scattering factor أى أن .

$$A = B \ \varepsilon \ cd$$

حيث أن حساسية الجهاز تتوقف على نسبة تسمى singal-to-noise ratio. أى S/N.

وحيث أن S/N تتناسب طردياً مع I أي أن S/N α I حيث أن I شدة الضوء الساقط علي detector أى الـ photomultiplier .

وفى حالة قياس عينة يمكن قياسها على طولى موجة مختلفتين وطرحهما من بعض فإنه يمكن التغاضى عن الـ B أى الإنعكاس أوالتشتت scattering لأن التشتت للضوء سيكون تقريباً واحد فى العينتين ولذلك يمكن التغاضى عنه ولايدخل فى حساب الإمتصاص والفرق فى حساب الضوء الممتص بين العينتين يسمى Δ A .

وعند قياس عينة فى طول موجةA وقياس العينة فى طول موجه آخر A1 .

ثم طرحهما من بعض فإن الناتج يكون عبارة عن فرق الإمتصاص Δ A

absorbance difference = قوة الأمتصاص = Δ A = A - A1

وهنا يكون التشتت متساو تقريباً أى واحد وبالتالى يلغى التشتت. ولقياس تركيز الفيتوكروم يجرى تعريض الفيتوكروم لضوء أحمر ثم أحمر بعيد أى العكس ويتم قياس الضوء الممتص فى كل حالة ثم يتم طرحهما للحصول على Δ A أى فرق الإمتصاص.

وعند إستعمال فيتوكروم معين أو حتى كلوروفيل معين وحتى صبغة معينة أخرى مثل الكاروتين A أو B . عند تقدير إمتصاص هذه الصبغة للأنواع المختلفة من الضوء أى للأطوال المختلفة لأشعة الضوء ورسم ذلك على ورق بيانى على هيئة منحنى فيسمى ذلك بطيف الإمتصاص ويعتبر طيف الإمتصاص هو أفضل دليل بل الأكثر من ذلك فهر الدليل الوحيد لتعريف نوع الصبغة إذ أن كل صبغة فى النبات لها طيف إمتصاص معين ثابت ولذلك فإن طيف الإمتصاص هو الأساس فى التعرف وتمييز الصبغات الكثيرة الموجودة فى خلايا النباتات الراقية الزهرية وغير الزهرية.

فى حالة الفيتوكروم وهو أحد الصبغات الموجودة فى النبات يتم تقديره كما يلى (شكل٢٣٩). فإن الفيتوكروم يعرض لومضات ضوئية من الضوء الأحمر ثم

الأحمر البعيد أو العكس. ويرسم لذلك منحنى طيف الإمتصاص للفيتوكروم فى وجود الضوء الأحمر عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر ثم الأحمر البعيد أى طول الموجة ٧٣٠ نانومتر مع إستعمال طول موجه مقارنة وهو ٨٠٠ نانومتر حيث لايحدث إمتصاص بواسطة الفيتوكروم.

Δ AFr = Y - Y_1 بعد التعريض لضوء أحمر بعيد

Δ Ar = X - X_1 بعد التعريض لضوء أحمر

الفيتوكروم الكلى = Δ (ΔA) = Δ AFr - ΔAr

Δ (ΔA) =(Y -y_1) - (X - X_1)

$\therefore$ Δ (Δ A) = 2 Bε cd

ومن هنا يمكن تقدير تركيز الفيتوكروم أى تقدير C حيث أن d=1 .

و ε ثابت وأيضاً B يمكن التغاضى عنها ويكون ناتج هذه المعادلة أنه يمكن تقدير التركيز الكلى للفيتوكروم وهو C.

ومن المعروف أن الفيتوكروم يمكن تقديره فى الأنسجة غير الخضراء حيث أنه يتواجد فى بتلات الأزهار البيضاء الخالية من الكلوروفيل ويمكن أن يتواجد أيضاً فى الأجزاء البيضاء من الأوراق المزركشة الخالية من الكلوروفيل ولكنه كما سبق القول أنه فى كثير من الأحيان يجرى تقدير للفيتوكروم فى الأنسجة الشاحبة التى تحتوى على تركيز قليل من الكلوروفيل وكماسبق القول لكى تقلل من التداخل فى إمتصاص الضوء بين صبغتين الكلوروفيل والفيتوكروم حيث أنه من المعروف أن الكلوروفيل أيضاً يمتص الضوء الأحمر بشدة والضوء الأزرق بشدة ولذلك فى حالة تقدير الفيتوكروم سيمتص أيضاً جزء من الكلوروفيل الضوء الأحمر ولذلك فإنه يلزم بقدر الإمكان الحصول على عينات فيتوكروم نقية لمنع التداخل بين إمتصاص الضوء الأحمر بواسطة الكلوروفيل والفيتوكروم. ومماهو جدير بالذكر أنه يوجد طريقة

مشابهة يمكن منها حساب قيمة الكلوروفيل التى تمتص الضوء الأحمر. وبذلك يجرى عملية تقدير للضوء الممتص الكلى ويطرح منها كمية الضوء الممتص بواسطة الكلوروفيل ويكون الصافى كمية الضوء الممتص بواسطة الفيتوكروم.

يمكن قياس تركيز الفيتوكروم بالطرق اللونية بشرح آخر خلاف ماسبق كمايلى.

وحيث يتم قياس تركيز الفيتوكروم بهذه الطرق *in vitro* وأيضاً *in vivo*.

تتوقف فكرة هذا القياس على أن الصبغة Pr عند إمتصاصها ضوء طول موجته ٦٦٠ نانومتر تقل درجة الإمتصاص حيث أن الضوء الأحمر يسبب تحويلPr إلى Pfr. تمتص الصبغة Pfr ضوء طول موجته ٧٣٠ نانومتر ثم تقل درجة الإمتصاص حيث أن الضوء الأحمر البعيد يسبب تحويلPfr إلى Pr. تعتبر كمية الفيتوكروم التى تم قياسها عبارة عن فرق الإمتصاص double absorbance difference ويرمز لها بالرمز Δ (Δ A).

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A_{fr}^{Pr} - \Delta A_{r}^{Pfr}$$

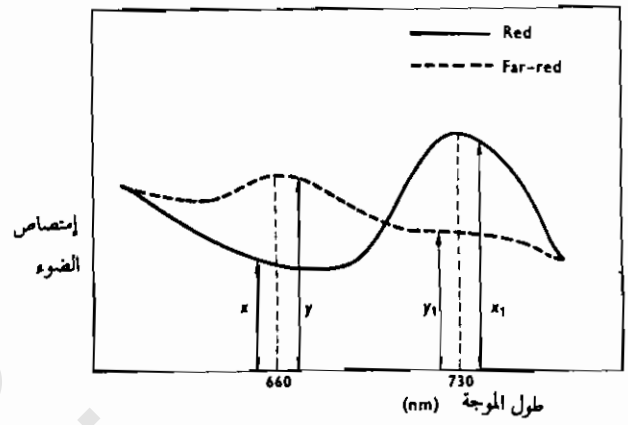
$$= (A\,660 - A\,730)_{fr}^{Pr} - (A660 - A\,730)_{r}^{Pfr}$$

وحيث أن ΔA_{fr}^{pr} $(A\,660 - A\,730)_{fr}^{Pr}$

هو عبارة عن الفرق فى الإمتصاص بعد تعريض محلول Pr إلى ضوء أحمر بعيد.

وحيث أن $\Delta A_{r}^{pfr} = (A\,660 - A\,730)_{r}^{pfr}$

هو عبارة عن الفرق فى الأمتصاص لمحلول Pfr الناتج من تعريضPr إلى ضوء أحمر أى الناتج من ΔA_{fr}^{Pr}



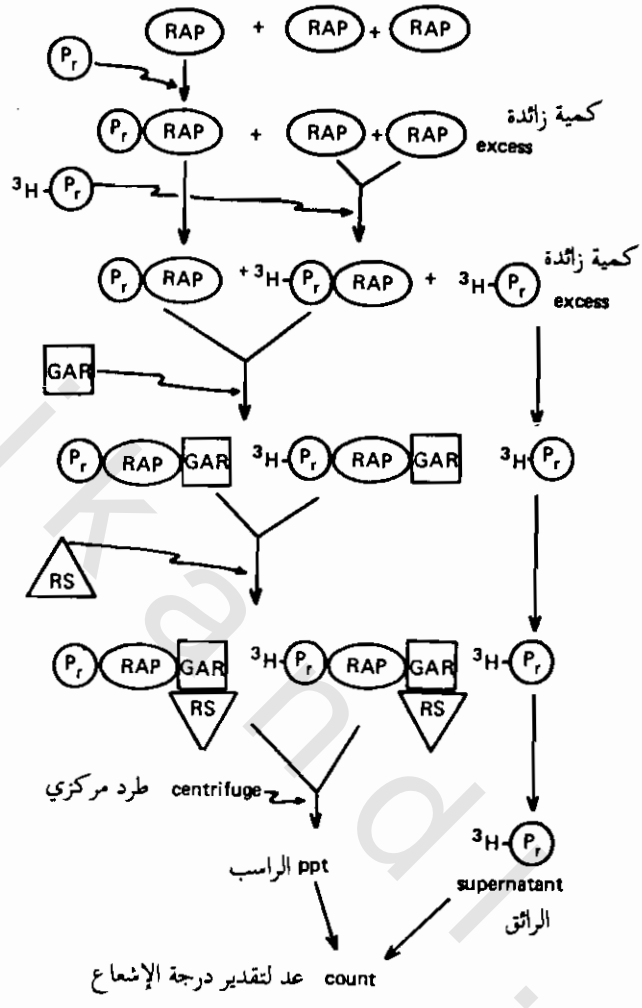
(شكل ٢٣٩) : تغير إمتصاص الضوء بواسطة الفيتوكروم فى أطوال الموجات المختلفة.

يتم قياس فرق الإمتصاص (Δ A) Δ بواسطة جهاز قياس للضوء هو "Ratiospect" photometer. يوجد أنواع عديدة مجددة لهذا الجهاز. والفكرة فى هذا الجهاز أنه عبارة عن صندوق صغير بسيط به مصدر للضوء (لمبة). ويمر الضوء على مرشحات filters ضوئية وهى مرشحات لاتنفذ أى نوع من الضوء إلا حزمة الضوء الأحمر وحزمة الضوء الأحمر البعيد red/far-red bandpass filters.

يمكن تركيب هذا الجزء مع أى جهاز spectrophotometer لقياس تركيز الفيتوكروم فى المستخلصات الغير نقية crude extracts أو فى المحاليل.

٢ ـ الإختبارات السيريولوجية Radioimmunoassay (RIA):

يمكن قياس تركيز الفيتوكروم بواسطة إحدى الطرق السيريولوجية وهى RIA. يمكن تلخيص هذه الطريقة (شكل ٢٤٠) فى أنه يمكن الحصول على أجسام مضادة للفيتوكروم وذلك بحقن الفيتوكروم النقى فى الأرانب ثم يتم إستخلاص المصل المضاد antiserum من الأرانب rabbit antiphytochrom serum (RAP).



(شكل ٢٤٠) : طريقة radioimmunoassay لتقدير الفيتوكروم.

RAP = مصل الأرانب المضاد للفيتوكروم (المصل المضاد)

^3H-Pr = فيتوكروم مشع Pr

GAR = المصل المضاد للماعز ويستعمل ضد الأرانب

RS = مصل الأرانب الغير منيع non-immune rabbit serum

يعامل الفيتوكروم المراد قياسه بالمصل المضاد فيتم إرتباط الفيتوكروم النقى بالمصل المضاد ويتبقى جزء من المصل المضاد حيث يتم أضافة فيتوكروم نقى Pr مشع لأنه يحتوى على إيدروجين مشع أى ^{3}H-Pr. يحدث إرتباط بين الفيتوكروم المشع والمصل المضاد ويحدث ترسيب ويتبقى كمية زائدة من الفيتوكروم Pr المشع . ثم يحقن إنتجين مأخوذ من الأرانب فى الماعز وبذلك نحصل على مصل مضاد لأنتجين الأرنب من الماعز ويسمى مصل مضاد للأرانب من الماعز goat antirabbit. يعامل المخلوط السابق بالمصل المضاد للماعز فيحدث إتحاد بين الأجسام المضادة لهذا المصل المضاد والفيتوكروم المرتبط بالأجسام المضادة للأرانب. لايرتبط المصل المضاد للماعز بالفيتوكروم وبذلك يتبقى الفيتوكروم المشع كما هو. ثم يضاف للمخلوط مصل الأرانب rabbit serum (RS) وليست المصل المضاد للأرانب. يحدث إتحاد بين مصل الأرانب RS مع الأجسام المضادة للماعز المرتبطة مع الفيتوكروم المشع أو الغير مشع وأيضاً RAP. وفى جميع هذه الحالات تبقى الكمية الزائدة من الفيتوكروم المشع حرة دون أى إتحاد مع أى من المركبات السابقة. يتم فصل الراسب عن supernatant بواسطة قوة طاردة مركزية. يحتوى الراسب والذى يسمى immunoprecipitate (ppt) على الفيتوكروم المتحد بالأجسام المضادة بينما يوجد الفيتوكروم المشع الحر فى supernatant . يتم تقدير تركيز الفيتوكروم المشع الحر فى supernatant وذلك بقياس درجة الأشعاع. كما يتم تقدير الفيتوكروم المشع المرتبط بالأجسام المضادة فى الراسب وذلك بقياس درجة الإشعاع.

يتم قياس وزن الراسب الكلى. ومن حساب الفرق بين كمية الفيتوكروم الكلية المضافة وكمية الفيتوكروم المشعة الحرة فى supernatant ينتج كمية من الفيتوكروم المشعة المرتبطة بالأجسام المضادة. ومن التقديرات المختلفة السابقة يمكن حساب تركيز الفيتوكروم فى عينة النبات.

تعتبر هذه الطريقة فائقة الحساسية حيث يمكن بها قياس تركيزات من الفيتوكروم تتراوح بين صفر إلى ٢٥ نانوجرام. كما يمكن بها أيضاً قياس تركيز

الفيتوكروم فى عينة غير مخففة من المستخلص النباتى الغير نقى crude extract لبادرة شوفان شاحبة ضوئياً ويكون حجم المستخلص واحد ميكرولتر.

يمكن إستخدام هذه الطريقة فى قياس تركيز الفيتوكروم فى أنسجة النبات الخضراء. وفى هذه الحالة بدلاً من إستعمال فيتوكروم مشع فيه الإشعاع فى ذرة الإيدروجين أى تكون تريتيم tritium (tritium labeled phytochrome) يستعمل فيتوكروم به يود مشع radio-iodinated phytochrome (^{125}I-phytochrome).

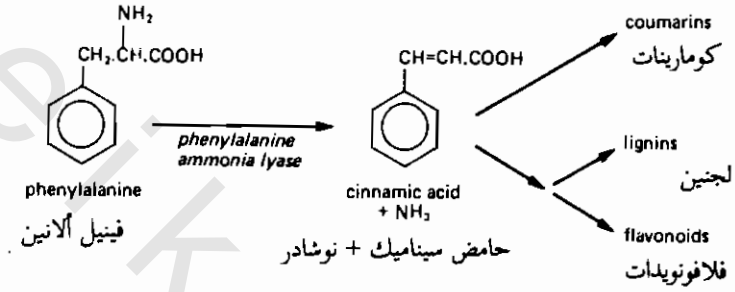
تأثير الفيتوكروم على نشاط الأنزيمات

تؤثر حالة صبغة الفيتوكروم Pfr على وجود ونشاط بعض الأنزيمات. وجد أن تكوين البادرة فى وجود الضوء أى photomorphogensis متوقف على وجود بعض الأنزيمات اللازمة لحدوث عملية البناء الضوئى ومن أمثلة ذلك أنزيم جليسر ألدهيد ٣ فوسفات ديهيدروجينيز glyceraldhyde-3-phosphate dehydrogenase ويكون لهذا الأنزيم دور فى البلاستيدة الخضراء كما أن نشاطه يتأثر عكسياً نتيجة لتحول Pr إلى Pfr.

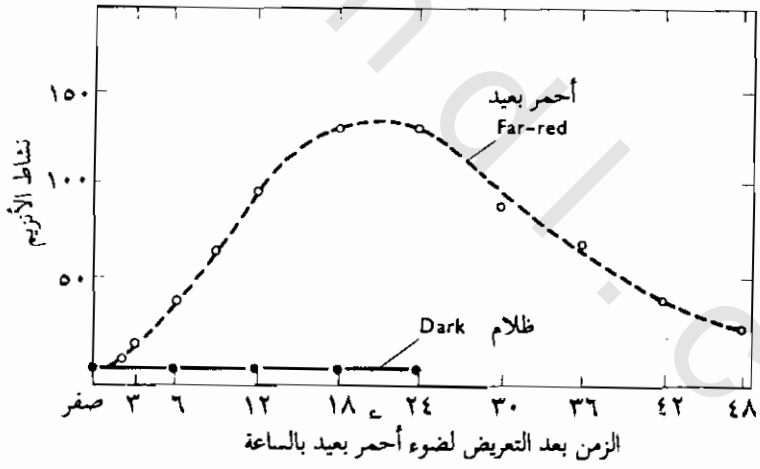
درس أيضاً أنزيم phenylalanine ammonia lyase والذى يظهر أيضاً حالة التغير العكسى للنشاط نتيجة لتحول Pr إلى Pfr. يقوم هذاالأنزيم بتحويل الحامض الأمينى فينيل ألانين إلى حامض سينامك cinnamic acid وبذلك تتحول عمليات التحول الغذائى من تخليق البروتين إلى تخليق الفينولات ومن أمثلة المركبات الأخيرة صبغة الأنثوسيانين والفلافينويدات flavonoids. ينتج عن هذا التحول أيضاً تكوين اللجنين والذى يكون الجدر الثانوية للخلايا والكومارين المسئول عن رائحة بعض أنواع القش (شكل ٢٤١).

يوجد هذا الأنزيم بتركيزات منخفضة فى بادرات الخردل mustard النامية فى الظلام ويزداد هذا التركيز نتيجة لتعريضها للضوء. يتضح زيادة نشاط الأنزيم عند تعريضه إلى الضوء بعد الظلام ونتيجة لوجود Pfr (شكل ٢٤٢). توجد فترة lag

phase حوالى ساعة بعدها يزداد نشاط الأنزيم. يزداد نشاط الأنزيم تدريجياً حتى عشرون ساعة ثم يقل تدريجياً. وحتى الان لم يثبت بالدليل القاطع ميكانيكية تأثير Pfr على نشاط الأنزيم حيث يعتقد البعض أن هذه الحالة من الصبغة تساعد فى تخليق الأنزيم بينما يعتقد البعض الآخر أن هذه الحالة من الصبغة لها تأثير على نشاط الأنزيم الذى سبق تخليقه. ولكن يوجد إتفاق على أن Pfr ينتج عنها تخليق بعض الأنزيمات مثل أنزيم ascorbic acid oxidase .



(شكل ٢٤١) : نشاط أنزيم فينيل ألانين أمونيا ليز.



(شكل ٢٤٢) : حركيات kinetics أنزيم فينيل ألانين أمونيا ليز وذلك فى فلقة بادرة الخردل بعد التعريض لضوء أحمر بعيد.

نشاط الأنزيم يعبر عنه على أساس: Pmoles من حامض سينامك متكونة لكل دقيقة لكل زوج من الفلقات.

وجد أن بعض الأنزيمات الأخرى تتكون وتنشط فى الظلام ويتم تثبيطها تماماً فى وجود Pfr مثل أنزيم lipoxygenase. لاتتأثر بعض الأنزيمات الأخرى بالضوء مثل أنزيم الكتاليز وأنزيم isocitrate lyase.

الفيتوكروم ونفاذية الخلايا

بالرغم أنه توجد حالات تثبت أن Pfr لها دور فى التأثير على الجين ومثال ذلك الحالة السابقة حيث أن Pfr ينشط تخليق بروتين الأنزيم ويكون ذلك عن طريق الجين أو الجينات. فإنه توجد حالات أخرى تثبت أن تأثير Pfr سريع جداً وبذلك لايكون هذا التأثير نتيجة لتأثير الجين على تخليق البروتين ومثال ذلك حركة نوم أوراق المستحية *Mimosa* واللبخ *Albizzia* أى dark closure or folding of leaflets.

يحدث هذا التأثير لحدوث تغير فى ضغط الإنتفاخ لخلايا الوسادة (شكل ٢٣٤) أى عضو الحركة pulvinus فى قاعدة الوريقات . يحدث التغير فى ضغط الإنتفاخ نتيجة لدخول أيونات البوتاسيوم وغيرها فى الخلايا البطنية ventral cells وخروجها من الخلايا الظهرية dorsal cells. نتيجة لهذا التأثير يعتقد أن التأثير الإبتدائى primary action للفيتوكروم يكون على نفاذية الغشاء.

وجد أن القمم النامية المقطوعة لجذور الشعير ونوع من الفاصوليا يسمى mungbean والمعرضة للضوء الأحمر تلتصق بالأسطح الزجاجية السالبة الشحنة. وقد وجد أن هذه الظاهرة تتأثر عكسياً بالضوء الأحمر والأحمر البعيد. حيث وجد أنه نتيجة للتعريض للأشعة الحمراء فإن الجزء القمى من القمة النامية يكون موجب الشحنة وذلك بالمقارنة بالجزء القاعدى من القمة المقطوعة ويكون ذلك نتيجة لتكون Pfr. وقد أمكن قياس فرق الجهد الكهربائى بين قمة وقاعدة القمة المقطوعة وإتضح أنه واحد ملليفولت millivolt وأنه يحدث بعد ثلاثون ثانية أى نصف دقيقة من التعريض للضوء الأحمر.

(شكل ٢٤٣) : تأثير الضوء البعيد على حركة الوريقات.

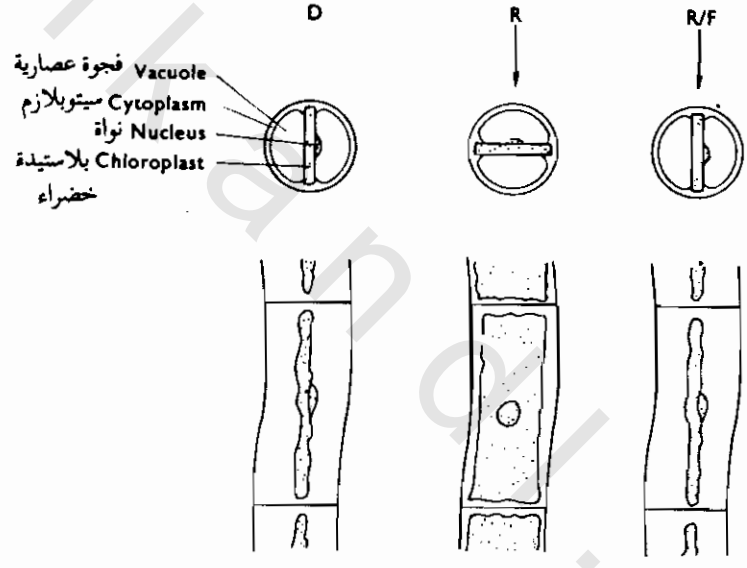
عرضت أعضاء الحركة pulvini عند قاعدة الوريقات الثانية والرابعة والسادسة إلى ضوء أحمر بعيد لمدة دقيقتين مباشرة قبل نقل الجزء بأكمله إلى الظلام. يلاحظ أن الضوء الأحمر البعيد منع حركة النوم للوريقات وظلت منفرجة وذلك فى نبات *Albizzia*.

أمكن حدوث نفس الحالة أيضاً فى غمد الريشة لبادرة الزمير. وجد أيضاً أن الضوء الأحمر يسبب تغيير فى تركيز أسيتيل كولين فى أنسجة بعض النباتات وقد يفسر ذلك على أنه تشابه بين تأثير Pfr فـى النبات وحالة الأحساس العصبى فى الحيوان an action potential in nerve fibers.

الفيتوكروم وتوجيه البلاستيدات الخضراء

إتضح من تجارب Haupt عام ١٩٦٠ إلى ١٩٧٠ أن حركة البلاستيدات الخضراء وتوجيهاً بالضوء فى الطحلب *Mougeotia* تقع تحت تأثير الفيتوكروم. كما أتضح أيضاً أن الفيتوكروم غير موجود بالبلاستيدة الخضراء بل موجود فى أو بالقرب من الغشاء البلازمى الأكتوبلاست. بإستخدام حزمة ضوئية microbeams وضوء

مستقطب إتضح أن الصبغة Pr تمتص الضوء بأقصى درجة عندما تكون البلاستيدات موازية لسطح الخلية بينما تمتص الصبغة Pfr الضوء بأقصى درجة عندما تكون البلاستيدة الخضراء عمودية على سطح الخلية. معنى ذلك أنه عند تعريض الخلية لأشعة وحيدة الحزمة من الضوء الأحمر فإن Pr تتحول إلى Pfr بدرجة كبيرة عند مقدمة ومؤخرة الخلية وذلك بالمقارنة بدرجة التحويل عند جانبى الخلية. وعند إفتراض أن البلاستيدة الخضراء المسطحة الموجودة فى هذا الطحلب تتحرك بعيداً عن مناطق السيتوبلازم المحتوية على تركيز عال من Pfr وبذلك يمكن تفسير حركة وتوجيه البلاستيدة الخضراء (شكل ٢٤٤ و ٢٤٥).



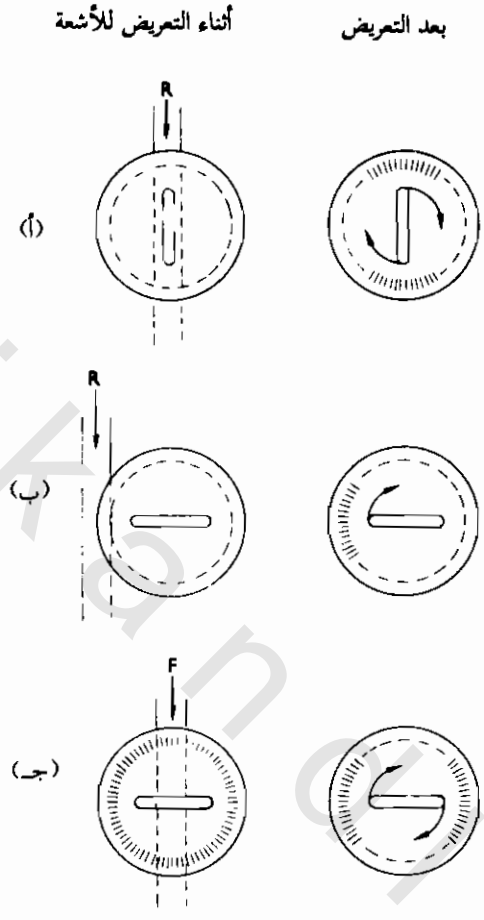
(شكل ٢٤٤) : توجيه حركة البلاستيدة الخضراء فى خلية طحلب *Mougeotia*

الصف العلوى قطاع عرضى فى خلية الطحلب والصف السفلى منظر سطحى لخلية الطحلب.

D- تعريض الطحلب للظلام.

R- موقع البلاستيدة بعد نصف ساعة من التعريض لضوء أحمر لمدة دقيقة.

R/F- وضع البلاستيدة بعد نصف ساعة من التعريض لضوء أحمر لمدة دقيقة ثم التعريض مباشرة لضوء أحمر بعيد.



(شكل ٢٤٥) : حركة البلاستيدة الخضراء فى الطحلب *Mougeotia*.

أ ـ خلية فى الظلام عرضت لحزمة ضوئية حمراء.

ب ـ خلية فى الظلام عرضت لحزمة ضوئية حمراء جانبياً .

جـ ـ خلية فى الضوء عرضت لحزمة ضوئية من الضوء الأحمر البعيد .

(الأسهم تشير إلى إتجاه حركة البلاستيدة الخضراء مع ملاحظة أن البلاستيدة تتحرك بعيداً عن مناطق Pfr).

obeikan.com

الفيتوكروم والأغشية

قد يوجد الفيتوكروم فى البلاستيدات وقد يوجد فى أجزاء أخرى من الخلية فقد يوجد فى السيتوبلازم أو فى الغشاء البلازمى الأكتوبلاست ويوجد إحتمال لوجوده فى الميتوكوندريا. يوجد الفيتوكروم فى الأنسجة المحتوية على البلاستيدات الخضراء كما يوجد فى الأنسجة عديمة البلاستيدات مثل الجذور. وجد أن بلاستيدات النباتات الشاحبة ضوئياً etioplasts مثل البلاستيدات الخضراء المعزولة من أوراق النجيليات يمكن أن تتأثر عكسياً بالضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد حيث تتأثر كمية الجبريللينات المنتشرة من هذه البلاستيدات وأيضاً يتأثر التركيب الدقيق ultrastructure لهذه البلاستيدات. يتضح من التجربة السابقة أن الفيتوكروم يوجد فى البلاستيدات.

تأثير الفيتوكروم على حركة الوريقات والرويشات

من المعروف أن بعض من النباتات ذات الأوراق الريشية أو الراحية أو المركبة الريشية المتضاعفة تحدث حركة فى وجود الليل والنهار . ففى وجود النهار تنبسط الوريقات وفى وجود الليل تضم الوريقات على بعضها وتشاهد هذه الحركة فى نبات الفول السودانى وفى أنواع من نبات السنط وأيضاً نبات اللبخ (دقن الباشا) *Albizzia* ونبات الست المستحية *Mimosa pudica*. وقد وجد أن هذه الحركة تتأثر باللون الأحمر واللون الأحمر البعيد فإنه عند تعريض الأوراق للضوء الأحمر البعيد لايحدث إنطباق للأوراق بينما فى وجود اللون الأحمر تنطبق الوريقات على بعضها. وقد وجد أن كلا النوعين من الضوء يلغى كل منهما تأثير الآخر . ومن المعروف أن هذه الحركة تحدث نتيجة لتغيرات فى الضغط الأسموزى موجودة فى أجزاء من قواعد النبات والوريقات تسمى الوسادة أو أعضاء الحركة pulvini وفى هذه الأعضاء يوجد نوعين من الخلايا وهى الخلايا البطنية ventral cells والخلايا الظهرية dorsal cells.

وقد وجد فى حالة وجود الخلايا البطنية فى حالة إنتفاخ تام أى لها ضغط أسموزى عالى نتيجة لوجود أيون البوتاسيوم بتركيزات عالية فإن الوريقات تكون منبسطة ومنفرجة. وعند انتقال أيونات البوتاسيوم وبعض الأيونات الأخرى بشدة إلى الخلايا الظهرية فإنه يحدث انكماش للخلايا البطنية وانتفاخ للخلايا الظهرية نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى لها وينتج عن ذلك إنطباق الوريقات على بعضها. يعتبر الجزء العلوى من الوسادة خلايا بطنية والجزء السفلى خلايا ظهرية.

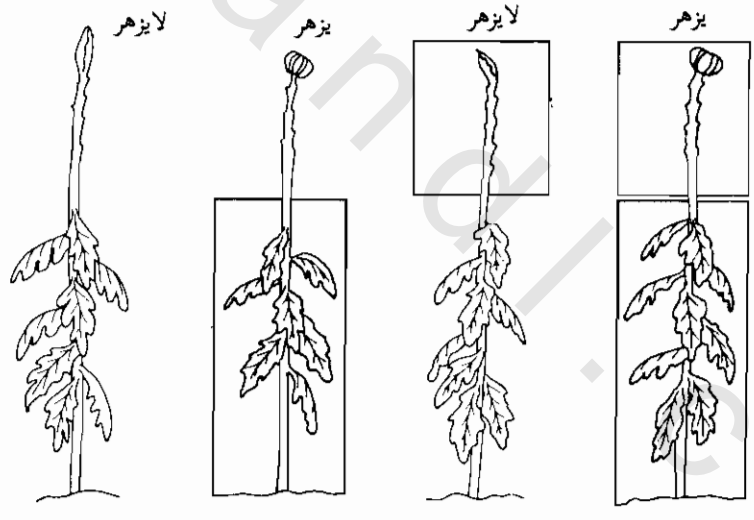
وقد وجد أنه يمكن عمل هذه الحالة فى النبات فى حالة وجود الضوء الأحمر حيث أن عند تعريض هذه الوريقات للضوء الأحمر لفترة معينة ثم نقله لغرفة مظلمة فإن الوريقات تنضم على بعضها. ولكن عند تعريض هذه النباتات لضوء أحمر بعيد ونقلها إلى غرفة مظلمة فلايحدث إنضمام للأوراق على بعضها . واتضح أن كلا النوعين من الضوء يلغى تأثير النوع الآخر.

ومن أحد هذه التجارب الفريدة فى هذا الموضوع أنه عند تعريض بعض الوريقات للضوء الأحمر البعيد دون البعض الآخر فى نفس الورقة المركبةثم تنقل للظلام فإن الأوراق المعرضة للضوء الأحمر البعيد لاتقفل على بعضها ولاتظهر حركة النوم ومن هنا يتضح أن الضوء الأحمر البعيد يمنع إنطباق الوريقات وحركة النوم والعكس صحيح فى الضوء الأحمر فإنه لايمنع ذلك (شكل ٢٤٣). ومن الجدير بالذكر أن نوعى الضوء يعكس ويلغى تأثير الضوء الآخر ولذلك فإن للفيتوكروم دور فى ذلك. وحيث أن فتح وإنطباق الوريقات يتأثر بإنتقال أيون البوتاسيوم وأيضاً الكلور من وإلى الخلايا الظهرية والبطنية فى عضو الحركة فبالتالى يمكن أن يكون للفيتوكروم دور فى التحكم فى نفاذية الخلايا.

هورمون (هورمونات) الأزهار

من أفضل التجارب التى أجريت فى هذا الموضوع هى للعالم الروسى Chailachjan حيث أجرى تجاربه على نبات الكريزانثيمم *Chrysanthemum* وهو

نبات قصير النهار (شكل ٢٤٦) . قام بتعريض النبات لنهار طويل فلم يزهر النبات ثم قام بتعريض الأوراق لنهار قصير دون القمة والتى يتكون منهاالنورة أى الأزهار فقد حدث الأزهار. ثم قام بتعريض الجزء القمى لنهار قصير دون الأوراق فلم يحدث الإزهار. وبالطبع عندما قام بتعريض الأوراق والجزء القمى لنهار قصير فقد حدث إزهار. وقد إستنتج من هذه التجارب أن طول الفترة الضوئية يؤثر على إنتاج هورمون (هورمونات) الإزهار. وقد سمى هذه الهورمونات أو الهورمون بإسم فلورجين florigen وقد إستنتج أيضاً أن الجزء الحساس من النبات والذى يستجيب لطول الفترة الضوئية وله حساسية مفرطة لطول هذه الفترة هو الأوراق. وأن المركب أو المركبات التى يتكون منها هورمون الإزهار يتم تخليقها فى الأوراق وتنتقل منها إلى المناطق المرستيمية فى القمة النامية لتحدث الإزهار وذلك فى ظروف إضاءة مناسبة. ولازالت هذه الإستنتاجات صحيحة تماما حتى الآن.



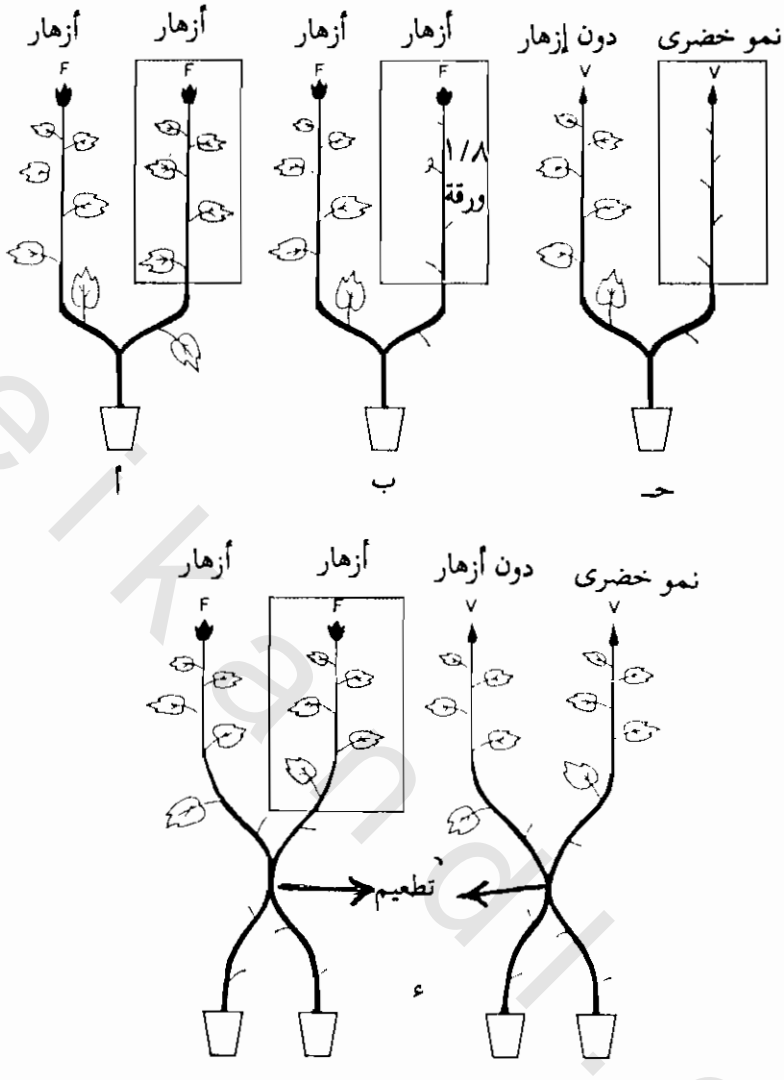
(شكل ٢٤٦) : إزهار نبات الكريزانثيمم نتيجة لتعريض الأوراق للضوء دون أى أهمية لتعريض القمة النامية. يوضح المستطيل تعريض الجزء النباتى لفترة ضوئية مناسبة .

قد أجرى هامنر Hamner عام ١٩٤٢ تجارب على نبات قصير النهار وهـــو نبات *Xanthium* زانثيم. قد إتضح من تجاربه أن إزالة جميع أوراق النبات تسبب عدم أزهار النبات بالرغم من تعريضه لفترة ضوئية قصيرة. ولكن وجد أن ١/٨ ثمن الورقة فقط كاف لإزهار النبات بعد تعريضه لفترة ضوئية قصيرة لمدة كافية . يمكن للنبات أن يزهر عند وجود ورقة واحدة على أحد الفرعين وفى هذه الحالة يستعمل نبات ذو فرعين حيث تزال جميع الأوراق عدا ورقة واحدة من أحد الفرعين ثم تعرض هذه الورقة لفترةضوئية قصيرة مناسبة دون الفرع الآخر فيحدث إزهار للفرعين أى أن المنشط للأزهار أى الهورمون ينتقل من فرع إلى آخر. وجد أيضاً أن الهورمون ينتقل من نبات إلى آخر عند التطعيم حيث ينتقل من نبات إلى آخر عبر مكان التطعيم فعند تطعيم نباتين وتعريض أحدهما لنهار قصير فإن كلا النباتين يزهر (شكل٢٤٧). ويتضح من ذلك أن تجارب هامنر قد عضدت تجارب Chailachjan.

وفى تجارب أخرى تم تعريض نبات Xanthium لنهار قصير ثم تؤخذ قمة هذا النبات ويتم تطعيمها على نبات زانثيم معرض لنهار طويل فيتم الأزهار فى الوقت المناسب مما يثبت أن منشط أوهورمون الأزهار إنتقل من الطعم قصير النهار إلى الأصل طويل النهار عبر منطقة التطعيم وأحدث الأزهار بالرغم من أن الأصل لم يعرض إطلاقاً إلى نهار قصير.

وفى تجارب أخرى على نباتات من أجناس مختلفة ومنها نبات *Xanthium* ونـبات *Perilla* وهما من نباتات النهار القصير فعند أخذ ورقة من أحد النباتين بعد تعريضه لنهار قصير وتطعيمها على النبات الآخر المعرض للنهار الطويل يحدث الأزهار للنبات الأخير فى الوقت المناسب.

تعتبر تجارب التطعيم على النباتات قصيرة النهار أكثر من تجارب التطعيم على النباتات طويلة النهار. ولكن فى حالة تطعيم نباتات النهار الطويل يحدث نفس التأثير كماهو الحال فى نباتات النهار القصير.



(شكل ٢٤٧) : نبات زانثيم ذو فرعين يوضح معاملات مختلفة للأزهار.

وجود المستطيل يعنى تعريض الفرع للأزهار لفترة مناسبة للإزهار.

أ ـ نبات عادى

ب ـ إزالة أوراق الفرع عدا ١/٨ ثمن الورقة.

جـ ـ إزالة أوراق الفرع تماماً.

د ـ تطعيم نباتين.

obeikandl.com

جميع التجارب السابقة تثبت صحة إستنتاج Chailachjan وهو أنه يوجد منشط stimulus عبارة عن مركب أو أكثر يتم تخليقه فى الأوراق فى وجود ظروف إضاءة مناسبة ثم ينتقل هذا المنشط من الأوراق إلى المناطق المرستيمية فى القمم النامية وينشط حدوث الأزهار. سمى هذا المنشط بالفلورجين florigen أى هورمون الأزهار.

توجد تجارب كثيرة تثبت وجود الفلورجين وعلى نباتات مختلفة منها نبات *Xanthium* ونبات *Pharbitis*. وقد أمكن تقدير سرعة إنتقال الفلورجين فى النبات الأخير وقد وجد أنه ينتقل فى الساق بسرعة تزيد قليلاً عن ٥١ سم لكل ساعة. وبالرغم من ذلك فإنه لم يتمكن أحد حتى الآن من عزل هذا الفلورجين من النبات وبالتالى فإن تركيبه غير معروف. خلاصة القول فى هذا الشأن أن الفلورجين حقيقة واقعة وثبت وجوده بالدليل القاطع ولكن لم يتمكن أحد من عزله حتى الآن.

ومماهو جدير بالذكر أن إنتقال الفلورجين فى النبات يكون فى نسيج اللحاء لأن هذه السرعة تماثل سرعة إنتقال المركبات المجهزة فى الأوراق إلى باقى أجزاء النبات عن طريق نسيج اللحاء.

أمكن حديثاً التعرف على مكان الجينات المسئولة عن الأزهار على الصبغيات فى نبات الطماطم وعزلها بواسطة الهندسة الوراثية وقد تم عمل DNA تكميلى لهذه الجينات أىcDNA أى complementary DNA وقد أستعمل cDNA الآن فى عمل دراسات عن الأزهار وتأثير الجينات فى حدوث الأزهار. يمكن بذلك سهولة التعرف على الفلورجين.

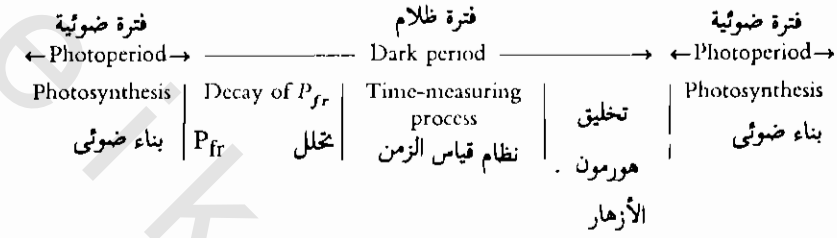
توجد بعض الدلائل على أن الفلورجين يتكون من أيزوبر ينويد أو من مشابهات الأستيرويدات isoprenoid or steroidlike. إلا أن الأبحاث التى قادت إلى هذا الإعتقاد لم تستكمل بعد على أى حال.

إتضح من تجارب Wardell حديثاً نسبياً أن DNA المستخلص من سيقان التبغ المزهرة تسبب أزهار سيقان التبغ وذلك بتأثيرها على البراعم الزهرية. وجد أن heat

denatured DNA أكثر فاعلية فى ذلك ولكن الـ DNA المستخلص المعامل بالأنزيم DNAse غير فعال. غير معروف حتى الآن العامل الفعال فى ذلك.

العلاقة بين الفيتوكروم وهورمونات الأزهار

يمكن تلخيص العلاقة بين طول الفترة الضوئية والأزهار ودور الفيتوكروم فى ذلك وأيضاً عملية البناء الضوئى فى الشكل التالى (شكل ٢٤٨).



(شكل ٢٤٨) : علاقة التواقت الضوئى وهورمون الأزهار.

يتضح من الرسم السابق أنه أثناء فترة الإضاءة يحدث التخليق الضوئى وأثناء فترة الظلام يحدث تحول تدريجى من Pfr إلى Pr كما يحدث تحلل جزئى للـ Pfr. نتيجة لذلك يقل تركيز Pfr ويزداد نسبياً تركيز Pr. وفى هذه الأثناء لايتكون هورمون الأزهار حيث وجد أن الزمن اللازم لتنشيط هورمون الأزهار أطول بكثير من الزمن اللازم لتحلل Pfr ولذلك يعتقد أنه يلى ذلك وجود نظام أو عمليات لقياس الزمن وهى الأساس فى تنشيط تكوين الفلورجين أى هورمون الأزهار. نتيجة لذلك يستجيب النبات للأزهار لطول هذه الفترة ثم يحدث بعد ذلك تنبيه لتخليق هورمون الأزهار والذى ينتقل فى لحاء النبات إلى البراعم الزهرية ليحدث الأزهار. أى أنه أثناء فترة الظلام تحدث تفاعلات عديدة منها تحلل Pfr وتفاعلات قياس الزمن وتنشيط تخليق هورمون الأزهار. يتم تخليق هورمونات الأزهار فى الأوراق وهى أماكن الإنتاج site of production ثم تنتقل إلى القمم النامية والبراعم الزهرية خلال نسيج اللحاء لتظهر تأثيرها أى أماكن التأثير site of action.

تأثير درجة الحرارة على الأزهار

تعتبر درجة الحرارة عامل مؤثر فى إزهار بعض النباتات فقد إتضح أن درجات الحرارة المنخفضة لها تأثير على الإزهار. تؤثر درجة الحرارة المنخفضة على إزهار النبات وذلك نتيجة لتأثيرها على الحبوب أو البذور. وذلك كما فى حالة القمح الشتوى والراى الشتوى أو قد يكون تأثير هذه الدرجة المنخفضة على أفرع وأوراق النبات ويلزم تعريض المجموع الخضرى لهذه الدرجات المنخفضة لكى يحدث الأزهار ومثال لذلك أصناف نبات التفاح. ولكن حديثاً فى بعض الدول أمكن إنتاج بعض أصناف من التفاح لاتحتاج إلى درجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة فى أثناء الشتاء لكى يحدث الإزهار.

مما سبق يتضح أن تعريض البذور أى الحبوب لدرجة حرارة منخفضة يؤثر على الأزهار وأيضاً أن تعريض المجموع الخضرى لدرجة حرارة منخفضة يمكن أن يؤثر على الأزهار واتضح أن درجة الحرارة المنخفضة لها تأثير على إزهار بعض النباتات الحولية وذات الحولين والمعمرة. فإن بعض النباتات تزهر فى الربيع فقط دون أشهر السنة الأخرى مثل زهرة البنفسج والبانسيه وبعض أنواع البرميولا *Primula*.

ومن المعروف أن نباتات الطماطم لاتتأثر بالضوء ولكنها تتأثر بدرجة الحرارة لكى تزهر وتحتاج إلى ليل ذو درجة حرارة ١٥°م ونهار ذو درجة حرارة ٢٥°م لكى يحدث الإزهار وكلما إختلفت درجات الحرارة عن ذلك كلما قلت كمية الإزهار.

ومن المعروف أن طول النهار يختلف على مدار السنة وأيضاً درجة الحرارة تختلف على مدار السنة وأن كل منهما له تأثير على الإزهار فى بعض أنواع النباتات.

الإرتباع Vernaliztion

أول من أثبت أهمية درجة الحرارة كمنظم للإزهار هو جاسنرGassner عام ١٩١٨ نتيجة لتجاربه على إزهار بعض النباتات التابعة للعائلة النجيلية ومنها القمح والراى وقد أمكنه تقسيم القمح والراى إلى مجموعتين تبعاً لموعد زراعتيهما

فالأصناف التي تزرع فى الخريف تسمى أصناف شتوية والأصناف التى تزرع فى الربيع تسمى أصناف ربيعية. واتضح أن كلا المجموعتين تزهر فى الصيف التالى مباشرة.

وعند زراعة قمح شتوى فى الربيع فإنه يعطى نمو خضرى فقط ولايزهر فى الصيف إطلاقاً ومن ذلك استنتج أن السبب فى ذلك ليست المدة حيث أن نمو الأصناف الشتوية ضعيف جداً فى الشتاء والخريف وأنه عند الزراعة فى الربيع فإن المدة تكون كافية لتكوين أوراق خضرية بكمية كافية ومع ذلك فإن النباتات لاتزهر.

ولذلك استنتج أنه لابد من وجود عامل محدد لتفسير هذه الظاهرة.

أجرى Gassner تجربة هامة على تأثير درجات حرارة مختلفة على إنبات الحبوب والأطوار الأولى من النمو وذلك للراى والقمح الشتوى والربيعى.

فقد زرع أصناف راى شتوية وربيعية فى مواعيد مختلفة بين ١٠ يناير إلى ٣يوليو وقد تم عمل ٤ معاملات لدرجات الحرارة أثناء الإنبات .

ففى المعاملة ١ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ١ ـ ٢°م.

وفى المعاملة ٢ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ٥ ـ ٦°م.

وفى المعاملة ٣ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ١٢°م.

وفى المعاملة ٤ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ٢٤°م.

وبعد الأنبات يتم نقل هذه الحبوب وقد وجد أن درجة الحرارة لاتؤثر على إنبات حبوب الراى الربيعى ولم تؤثر على إزهار هذه النباتات وأن جميع الحبوب التى زرعت فى نفس الموعد أزهرت فى نفس الميعاد دون التأثر بدرجات الحرارة المستعملة أثناء الإنبات أما فى الراى الشتوى فإن الحبوب المعرضة لدرجة حرارة ١ ـ ٢°م. أثناء الإنبات هى التى إزهرت دون تأثر بموعد الزراعة وأن الحبوب التى عوملت بدرجات

الحرارة الأخرى أى أعلى من ٢°م لم تزهر إلا إذا كان زراعتها لايتعدى أوائل أبريل وحيث يكون الجو منخفض الحرارة طبيعياً.

ومن ذلك استنتج أن درجة الحرارة المنخفضة لاتؤثر على إزهار القمح الربيعى أو الراى الربيعى ولكنها على العكس فإنها تؤثر على إزهار القمح الشتوى والراى الشتوى حيث أنه لابد أن تعرض الحبوب أثناء الإنبات وبعد ذلك لمدة معينة لجو ذو درجة حرارة منخفضة لكى يحدث الأزهار.

تلى ذلك أبحاث Lysenko فى روسيا وكانت أبحاثه متعلقة بالناحية الإقتصادية وقد وجد أن جو الشتاء قارص البرودة يسبب موت القمح الشتوى عند زراعته فى الخريف ولكن القمح الشتوى أفضل من القمح الربيعى لأن محصوله أعلى وقد تغلب على هذه المشكلة بإنبات حبوب القمح الشتوى فى الربيع فى ظروف درجة حرارة منخفضة وفى هذه الطريقة تنقع الحبوب فى الماء لتأخذ تشرب كافى يسمح بحدوث إنبات خفيف ونمو الجنين ولكنها غير كافية لإنبات تام وذلك بأن يدفن الحبوب فى الثلج لتعرض لدرجة حرارة منخفضة فإن هذه الحبوب عند زراعتها فى الربيع تزهر تماماً وفى نفس الوقت عند زراعتها فى الخريف. وهذه الطريقة تعرف بإسم الإرتباع vernalization وبداية استعمال هذا الإصطلاح ويطلق على تعريض الحبوب أثناء الإنبات لدرجة حرارة منخفضة ليساعد على إزهارها ثم تم تعميم هذا الإصطلاح ليشمل معاملات أطوار مابعد الإنبات بدرجة حرارة منخفضة لتساعد على الإزهار.

وجد أن صفة الإرتباع هى صفة وراثية تؤثر عليها زوج من العوامل الوراثية فى القمح والراى حيث أنF1 القمح الربيعى سائد وF2 تكون النسبة بين القمح الشتوى إلى الربيعى ١ :٣.

قمح ربيعى X قمح شتوى

قمح ربيعى F1 الجيل الأول

شتوى ١ : ربيعى٣ F2 الجيل الثانى

ومن ذلك يتضح أن صفة القمح الربيعى هى سائدة على صفة القمح الشتوى ويتحكم فيها زوج من العوامل الوراثية أى أن صفة الإرتباع متنحية والعكس صحيح فى نبات السكران حيث أن صفة الإرتباع سائدة . ولكن ليست هذا هو الحال فى جميع حالات الإرتباع فقد وجد فى النبات النجيلى *Lolium perenne* أن هذه الصفة تتأثر بعوامل وراثية عديدة.

أنواع النباتات التى تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة للأزهار:

تحتاج بعض النباتات إلى درجة حرارة منخفضة للأزهار وذلك كما فى الحالات الآتية:

١ ـ نباتات حولية شتوية:

وهى نباتات تنبت فى الخريف أو الشتاء وتزهر فى الربيع المبكر ومنها نباتات تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة لحدوث الأزهار ومثال لذلك *Veronica agrestris* .

٢ ـ نباتات ذات حولين:

وهى نباتات تعطى نمو خضرى فى السنة الأولى ونمو زهرى فى السنة الثانية وقد ثبت أن بعض هذه النباتات تحتاج إلى حرارة منخفضة أثناء الشتاء للإزهار مثل البنجر والكرفس والكرنب.

وتقسم هذه النباتات تبعا إلى الأرتباع إلى يأتى:

أ ـ نباتات أجبارية الارتباع (obligate vernalization) Obligate cold requiring plants حيث نجد أن النبات يحتاج إلى حرارة منخفضة فى الشتاء لكى يزهر وفى حالة عدم توفر درجة الحرارة المنخفضة فإن النبات لا يزهر اطلاقا. وأنه فى المناطق ذات الشتاء الدافئ فإنها لا تزهر ومثال لذلك *Digitalis purpurea* والكرنب.

ب ـ نباتات اختيارية الارتباع (facultative vernalization) Facultative cold requiring plants حيث نجد أن درجة الحرارة المنخفضة أثناء الشتاء تساعد على زيادة

كمية الأزهار ولكن فى عدم وجود هذه الدرجة المنخفضة للحرارة فإن النباتات تزهر بكمية أقل مثل بعض أصناف الخس والسبانخ.

٣ ـ نباتات معمرة:

وهى نباتات كثير منها لابد أن يعرض لشتاء بارد ليحدث الأزهار وعند وجود شتاء دافئ فإنها لا تزهر ويقل إزهارها مثل بعض أنواع الكريزانثمم مثل *Chrysanthemum morifolium* والبرميولا *Primula vulgaris* .

٤ ـ نباتات معمرة تحتاج لدرجة حرارة منخفضة لتكوين الساق والأوراق:

بعض نباتات معمرة لاتحتاج درجة حرارة منخفضة لازهارها بل تحتاج هذه الحرارة لنمو الساق والأوراق مثل الابصال التى تزهر فى الربيع مثل النرجس والزعفران والياسنت والتوليب حيث نجد أن البرعم الزهرى يتكون أثناء الصيف السابق وحيث درجة الحرارة مرتفعة نسبيا ولكن النمو الخضرى على العكس من ذلك يحتاج إلى حرارة منخفضة. ومثال لذلك أن نبات التيوليب يحتاج لازهاره لدرجة مثلى هى ٢٠ م ولكنه يحتاج لنمو الساق وتكوين الأوراق إلى درجة حرارة حوالى ٨ م ثم ١٣ م ثم ١٧ م ثم ٢٣ م على التوالى. يحدث أيضا نفس الشيئ فى النرجس والياسنت.

٥ ـ بعض النباتات تحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة بعد درجة الحرارة المنخفضة ليحدث الأزهار.

٦ ـ بعض النباتات تحتاج إلى درجة الحرارة المنخفضة حتى تتكون مبادئ البراعم الزهرية فقط ومثال لذلك Brussels sprout.

٧ ـ كثير من النباتات يحدث لها ارتباع للمجموع الخضرى فى وجود الأوراق وقليل من النباتات يحدث لها الارتباع وهى فى طور البذور أو الحبة مثل النجيليات الشتوية مثل القمح والراى وغيرها مثل الخردل والبنجر. وفى المجموعة الأولى من النباتات نجد أن الحرارة المنخفضة لا تؤثر على البذرة بل لابد للبذرة أن تنبت لتكون

البادرة وتصل بعد ذلك إلى حجم معين juvenile phase وتصبح قابلة للتأثر بدرجة الحرارة المنخفضة لحدوث الأرتباع كما فى الكرنب ونبات Brussels sprouts .

علاقة التواقت الضوئى بالأرتباع:

ثم دراسة التداخل بين الارتباع والتواقت الضوئى وذلك فى بعض النباتات كما يلى:

١ ـ نبات السكران *Hyoscyamus niger* :

يزهر فى الصيف وتوجد منه سلالات حولية وسلالات ذات حولين وهى بذلك تشابه حالة القمح الربيعى والقمح الشتوى فالسلالات الحولية تحتاج إلى نهار طويل فقط لكى تزهر ولا تحتاج إلى إرتباع. أما السلالات ذات الحولين فتحتاج إلى درجة حرارة منخفضة فى الشتاء ثم نهار طويل فى الصيف لكى تزهر أى أنها تحتاج إلى أرتباع.

٢ ـ النبات المعمر النجيلى *Lolium perenne* :

يحتاج إلى حرارة منخفضة ليحدث بدء الأزهار وذلك فى فصل الشتاء ويحتاج إلى نهار طويل لخروج النورة . ولذلك لا تظهر النورة من غمد الورقة إلا بعد أن يتعدى طول النهار ١٢ ساعة وذلك فى شهر مارس . أما الخلفهtillers فإنها تتكون فى الربيع والصيف ولذلك لا يحدث ارتباع ويستمر نموها خضريا فقط ولا تزهر حتى الشتاء التالى. ولذلك فإن أزهار هذا النبات فصلى ولا يحدث إلا مرة واحدة فى السنة فى الربيع أو الصيف المبكر.

٣ ـ وجود الإرتباع أقل شيوعا فى نباتات النهار القصير.

٤ ـ وجد فى بعض الحالات القليلة من النباتات كما فى بعض أصناف الكريزانثمم أنها تحتاج إلى فترة درجة حرارة منخفضة فى الشتاء قبل النهار القصير لكى يحدث الأزهار. بعض أصناف الكريزانثيمم تحتاج إلى فترة حرارة منخفضة قبل

وجود فترة الإضاءة القصيرة وبعد أزهار النبات الأب فى الخريف فإن عدد من الريزومات التى تنمو أفقيا تنشأ من قاعدة النبات وتنمو تحت سطح التربة مباشرة. تتعرض هذه النموات للشتاء البارد وفى الربيع التالى ينتج منها نموات رأسية أى سيقان خضرية عادية وهذه تنمو عادية فى وجود الصيف ثم تتعرض للنهار القصير فى الخريف ويحدث الأزهار لهذه النموات والسيقان. وفى حالة نمو هذا النبات فى الصوبة وحيث توجد تدفئة صناعية أثناء الشتاء فلا تتعرض النموات للبرد القارص وتنمو عاديا فى الصيف ولكنها لا تزهر فى الخريف. أى درجة حرارة الشتاء عامل هام ومحدد فى الأزهار فى هذه الحالة. يسمى أيضا تعريض هذه السيقان لدرجة حرارة منخفضة أثناء الشتاء لتشجيع الأزهار بالأرتباع vernalization. ولذلك فإن النموات الجديدة فى هذا النبات لابد أن تتعرض للشتاء القارص البرودة لكى تزهر فى الخريف التالى. يجب أن يتجدد التعريض سنويا لكى يحدث الأزهار سنويا.

عكس الأرتباع Devernalization :

يمكن عكس حالة الإرتباع فى الحبوب وذلك بتعريضها إلى درجة حرارة ٢٥-٤٠ °م لمدة أربعة أيام ونتيجة لهذه المعاملة فإن كمية الأزهار تقل وتسمى عكس الارتباع.

ولكن وجد أنه بزيادة الفترة التى تتعرض لها الحبوب لدرجة حرارة منخفضة فإنه يصعب عمل عكس الأرتباع devernalization حتى درجة معينة وفترة معينة لا يمكن اطلاقا عمل عكس الأرتباع، أى لا تستجيب النباتات والحبوب لذلك وتظهر حالة الإرتباع. وفى حالة عكس الارتباع فإنه يمكن عمل ارتباع مرة أخرى بتعريض الحبوب لدرجة حرارة منخفضة مرة أخرى أى أنه يمكن عمل ارتباع وعكس ارتباع وهكذا وذلك بالتعريض لدرجة حرارة منخفضة أو عالية على التوالى.

تنشيط الأزهار فى حالة الارتباع:

يمكن تنشيط عملية الأزهار فى حالة النباتات المعرضة للأرتباع وفيما يلى بعض الأمثلة على ذلك:

١ ـ يمكن نقل تنشيط الارتباع بواسطة التطعيم فى نبات السكران فقد وجد أن نقل ورقة من نبات به ارتباع vernalized لصنف ذو حولين إلى أصل من نفس النبات ولكنه غير مرتبع unvernalized فوجد أن الأخير يزهر دون احتياج إلى درجة حرارة منخفضة.

٢ ـ وجد أن نقل ورقة من النباتات الأتية وتطعيمها على نباتات ذات حولين من نبات السكران الغير معرض لدرجة الحرارة المنخفضة فإنه يزهر.

أ ـ ورق من نفس النبات ولكنه سلالة حولية ـ حيث أن السلالة الحولية لا تحتاج إلى إرتباع.

ب ـ ورقة من نبات البيتونيا *Petunia hybrida* وهو نبات حولى ذو نهار طويل.

حـ ـ ورقة دخان من الأصناف العادية أى المحايده للفترة الضوئية.

د ـ ورقة من نبات الدخان من صنفMaryland Mammoth معرضة لنهار طويل أو نهار قصير.

ومن ذلك استنتج أن منشط الأزهار ينتقل بين النباتات التى لا تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة إلى النباتات التى تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة ويحدث أيضا ذلك حتى بين الأجناس المختلفة من النباتات.

أمكن الحصول على نفس النتائج السابقه فى نباتات الكرنب والبنجر والجزر ثنائيه الحولين.

ونتيجة لذلك فقد اقترح كل من Melchers و Lang أن هذا المنشط للأزهار الذى ينتج نتيجة للارتباع فى النباتات ذات الحولين يسمى vernalin.

٣ ـ وجد أنه عند تكرار نفس التجارب الموجودة فى رقم ٢ على نبات نهار قصير مثل الكريزانثيمم وذلك بنقل ورقة من نبات vernalized إلى نبات unvernalized

يجعلة لا يزهر ولذلك فإن المنشط الزهرى لا ينتقل فى هذه الحالة. وجد أن تعريض جزء من قمة النبات لدرجة حرارة منخفضة فإن هذا الفرع الناتج عن القمة يزهر فقط أما بقية براعم الفروع الأخرى الناتجة من الأجزاء الغير معرضة لدرجة حرارة منخفضة فإنها لا تزهر.

ووجد أن تطعيم قمة غير مرتبعة من نبات الفجل على قمة مرتبعة لم يتكون إزهار.

ومن هذه التجارب يعتقد أن حالة الارتباع فى هذه النباتات تنقل عن طريق إنقسام الخلايا.

٤ ـ بالرغم من التجارب السابقة والتى تثبت حدوث تكون هورمون vernalin فإنه حتى الآن مشكوك فى وجود هذا الهورمون ولا يوجد تجارب قاطعة تدل على وجوده.

مكان الأرتباع Site of Vernalization :

التجارب التى أجريت على مختلف النباتات المحتاجة إلى البرودة والتى تضمنت السكران قد أوضحت بقوة أن مكان الارتباع هو مناطق النمو. وقد ظهر هذا بتجارب الحرارة المنخفضة على أماكن أجزاء النبات المختلفة فى الكرفس والبنجر والأراوله (الكريزنتيم) *Chrysanthemum*. أوضح ميلشرز Melchers نتيجة لتجاربه على تطعيم سلالتا السكران الحولية وذات الحولين أن قمة الساق Stemapex هى جزء النبات المستجيب بصفة أساسية المعاملة بالبرودة. يبدو أن قمة الساق هى المكان المُدرِك للارتباع، حيث ينتقل المُحفز Stimulus إلى الأجزاء الأخرى من النبات. وجد شواب Schwabe فى الكريزانتيم أن حفظ القمة تحت ظروف الحرارة المرتفعة وباقى النبات إلى البرودة فإن النتيجة هى عدم التزهير ولا بد أن نتذكر وندرك مدة المعاملة بالبرودة وعمر الورقة حيث أنهما عاملين هامين فى الاستجابة للتزهير.